



SANOATDA

RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR

Volume 3
No 3
September, 2025

ILMIY JURNAL

E-mail:
info@srt-journal.uz
Web-address:
www.srt-journal.uz



**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

научно-технический журнал

ISSN (ISSN-L): 3030-3214

**DIGITAL TECHNOLOGIES
IN INDUSTRY**

scientific and technical journal

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM, FAN VA
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

SANOATDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR
Ilmiy-texnik jurnali

**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**
Научно-технический журнал

DIGITAL TECHNOLOGIES IN INDUSTRY
Scientific and technical journal

№3(3) / 2025

QARSHI – 2025

Ilmiy-texnik jurnal O'zbekiston
Respublikasi Prezidenti
Administratsiyasi huzuridagi Axborot
va ommaviy kommunikatsiyalar
agentligi tomonidan 26.07.2023 yilda
№ 106679 raqamli guvohnoma berilgan

Ta'sischi

Qarshi davlat texnika universiteti,
Olmaliq kon-metallurgiya kombinati AJ

BOSH MUHARRIR

Sherzod Nematov

Qarshi davlat texnika universiteti rektori

E-mail: rektor@kstu.uz

Bosh muharrir o'rinbosari

Abdurashid Hasanov

OKMK Innovatsion texnologiyalarni
ishlab chiqarish va tadbiq etish markazi,
Texnologiya bo'yicha direktor
o'rinbosari

E-mail: abdurashidsoli@mail.ru

Ma'sul kotib

Abbos Shodiyev

Qarshi davlat texnika universiteti t.f.d.,
dotsent

E-mail: a.shodiyev@srt-journal.uz

Tahririyat manzili

180100, Qarshi shahri, Mustaqillik shoh
ko'chasi 225-uy, Qarshi muhandislik-
iqtisodiyot instituti

Tel: (+998) 94 376 05 05,

(+998) 90 673 64 33

E-mail: info@srt-journal.uz

Sayt: www.srt-journal.uz

Kompyuter sahifasi

Najmiddin Boymurodov

Tahliliy qurush

Najmiddin Boymurodov,

Uchqun Eshonqulov,

Oybek Qayumov,

Xusan Nurxonov,

Dizayn

Najmiddin Boymurodov

Jurnalning chop etilishi va elektron shaklini yangilab boruvchi mas'ul

Abbos Shodiyev

Chop qilindi

Terishga topshirilgan sana

15.09.2025-y.

Chop etilgan sana 28.09.2025-y.

Bichimi 60x84 1/8. Times garniturası.

Shartli bosma tabog'i 13,5.

Nashr bosma tabog'i 13,63.

Adadi 30. Buyurtma № 114

QDTU "INTELLEKT" MIU

nashriyotida chop etildi. Qarshi shahri,
Mustaqillik ko'chasi, 225.

©Sanoatda raqamli texnologiyalar

(E)ISSN: 3030-3214

DOI: 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025

TAHRIRIYAT HAY'ATI

Sherzod Nematov, Rektor. Qarshi davlat texnika universiteti, O'zbekiston
Abdulla Xursanov, t.f.f.d., Olmaliq kon-metallurgiya kombinati,
O'zbekiston

G'ulom Uzoqov, t.f.d., prof. Qarshi davlat texnika universiteti, O'zbekiston
Abdirashid Hasanov, t.f.d. prof. Olmaliq kon-metallurgiya kombinati,
O'zbekiston

Xayit Turayev, k.f.d., prof., Termiz davlat universiteti kimyo fakulteti
dekani, O'zbekiston

Eshmurat Pirmatov, t.f.d., prof. Yevroosiyo fanlar akademiyasi
akademigi, Qozog'iston

Bum Sung Kim, t.f.d., prof., Koreya nodir metallar instituti, Janubiy
Koreya

Irina Shadrunkova, t.f.d., prof. Rossiya fanlar akademiyasi M.V.Melnikov
nomidagi Mineral resurslardan kompleks foydalanish instituti, Rossiya

Gabor Mucsi, PhD, DSc, prof. Mishkols universiteti, Vengriya

Marcin Lutynski, PhD, DSc, prof. Sileziya texnologiya universiteti, Polsha
Anatoliy Gets, t.f.d., prof., Belarussiya milliy texnika univesiteti,
Belarussiya

Pyotr Tsibulenko, t.f.d., prof., Belarussiya milliy texnika univesiteti,
Belarussiya

Sherali Umedov, t.f.d., prof., Toshkent davlat texnika universiteti,
O'zbekiston

Nodir Doniyarov, t.f.d., prof., Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar
universiteti, O'zbekiston

Sanjar Berdiyev, t.f.d., prof., O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va
innovatsiyalar vazirligi boshqarma boshlig'i, O'zbekiston

Behzod Tolibov, t.f.d., prof., O'zbekiston Respublikasi Innovatsion
rivojlanish agentligi, O'zbekiston

Abbos Shodiyev, t.f.d., prof. Qarshi davlat texnika universiteti, O'zbekiston
Baxriddin Voxidov, t.f.d., dots., Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar
universiteti, O'zbekiston

O'tkir Nosirov, t.f.d., prof., Milliy texnologik tadqiqotlar universiteti
MISiS ning Olmaliq filiali, O'zbekiston

Gafur Nutfulloyev, t.f.d., dots., Milliy tadqiqotlar universiteti "MISIS"
ning Olmaliq shahridagi filiali, O'zbekiston

Shahboz Turdiyev, t.f.d., dots., Qarshi davlat texnika universiteti,
O'zbekiston

Sarvar Parmonov, t.f.d., dotsent, Toshkent davlat texnika universiteti
Olmaliq filiali, O'zbekiston

Ulug'bek Hasanov, t.f.f.d., Olmaliq kon-metallurgiya kombinati,
O'zbekiston

Baxrom Xamidullayev, t.f.f.d., Mineral resurslar ilmiy-tadqiqot instituti,
O'zbekiston

Rustam Nomdorov, t.f.f.d., Qarshi davlat texnika universiteti, O'zbekiston
Uchqun Eshonqulov, t.f.f.d., dots., Qarshi davlat texnika universiteti,
O'zbekiston

Oybek Qayumov, t.f.f.d., dots., Qarshi davlat texnika universiteti,
O'zbekiston

Oybek Qayumov, t.f.f.d., dots., Qarshi davlat texnika universiteti,
O'zbekiston

*"Sanoatda raqamli texnologiyalar" (e-ISSN:3030-3214) ilmiy-texmik jurnali
O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi
Oliy attestatsiya komissiyasining 30-iyul 2024 yildagi №358-sonli qaroriga
asosan quyidagi ixtisosliklar bo'yicha texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori
(PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya
ishlari yuzasidan dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya
etilgan:*

- 05.00.00 - Texnika fanlari
- 04.00.00 - Geologiya-mineralogiya fanlari
- 02.00.00 - Kimyo fanlari

MUNDARIJA

KON-METALLURGIYA VA ISHLAB CHIQRISH SANOATI

<i>Gaffarov Azamat Alisherovich, Atakulov Lazizjon Ne'matovich.</i> Avtosamosvallar ekspluatatsion parametrlari samaradorligini oshirish	10
<i>Raxmonov Ikromjon Usmonovich, Qorjobova Mahzuna Faxriddin qizi.</i> Fuzzy mantig'i asosida po'lat eritish texnologik jarayoni intensivligini oshirish	16
<i>Xoliqulov Donyor Baxtiyorovich, Xojiev Shoxrux Toshpo'latovich, Shaymanov Ikrom Ismatulla o'g'li, Xudoymuratov Shuxratjon Jumaboyevich.</i> Natriy gidroksidi yordamida metallurgiya chiqindilaridan kremniy dioksidini ajratib olish texnologiyasi	22
<i>Hojiyev Shohruh Toshpo'latovich, Karshiboyev Sherzod Begmaxamat o'g'li, Xudoymuratov Shuxratjon Jumaboyevich, Mutalibxonov Saidal'loxon Saidolimxonovich.</i> Texnogen eritmalaridan noyob metallarni ajratib olish imkoniyatlarini tadqiq etish	27
<i>Elchiyeva Mohinur Dilshod qizi, Xoliqulov Donyor Bahtiyorovich, Boltayev Olmos Najmidinovich, Niyazmetov Baxtiyor Ergashovich.</i> Oksidlangan mis rudasi tarkibidagi minerallarning qayta ishlash texnologiyasini tanlashdagi ahamiyati	34
<i>Kayumov Umidjon Erkinovich, Istamov Muhammad Farxodovich.</i> Karyerdagi BelAZ rusumli avtosamosvallarning dizel yoqilg'isi sarfini oshishiga ta'sir qiluvchi omillarining tahlili	42
<i>Turdiyev Shahboz Shermamat o'g'li, G'aniyev Barkamol Eshdavlat o'g'li, Boboxonov Abbos Ruslanovich.</i> Platinoidlarni qayta ishlashdan hosil bo'lgan chiqindilaridan platina va palladiyni ajratib olish texnologiyasini tadqiq qilish	48
<i>Mamaisaqova Zebo Bahodir qizi.</i> Mis-porfirli rudalarni boyitishning samarali texnologiyasini ishlab chiqish	55
<i>Akmalov Mansurxon Lutfullayevich, Larionov Sergey Vladimirovich, Yusupov Ural Sadullayevich, Mamirova Zulxumor Abdurashidovna.</i> Platina guruhi metallarni ajratib olgan holda mis-elektrolit shlamlarini qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqish va tadqiq qilish	61
<i>Karayev Baxromjon Mamadiyevich, Nomdorov Rustam Uralovich, Bobomurodov Azamat Yo'ldosh o'g'li, Xasanov Shahzod Rasul o'g'li.</i> Tyubegatan konida qazib olishning kon-texnik sharoitlarini baholash	73
<i>Vaxidov Bahriddin Raxmidinovich, Eshonqulov Uchqun Xudaynazar o'g'li, Rustamov Islomjon Ilhomovich.</i> Molibden sanoatining texnogen chiqindilaridan qimmatbaho metallarni ajratib olishda ion almashinuv jarayonlarini qo'llash istiqbollari	78
<i>Hayitov Odiljon G'ofurovich, Gulmurodov Javohir Nuriddin o'g'li, Karamov Alisher Nazarbaevich.</i> Portlovchi moddalarning detonatsiyalanishida to'liqlar hamda bosim fazasi va ularning ahamiyati	84
<i>Botirov Shoxbos Soibjon o'g'li, Nomdorov Rustam Uralovich.</i> Xondiza konida yer osti kon ishlari natijasida yuzaga kelgan yer yuzasi deformatsiyalarini InSAR texnologiyasi va Sentinel-1 sun'iy yo'ldosh tasvirlari asosida monitoring qilish	88
<i>Tayraliyev Sherzod Tayrali o'g'li, Ergashev Mahmud Axbaraliyevich, Eraliyev Abdug'affor Anarboy o'g'li.</i> Konsentratsion stoldagi zarrachalarni ajratish jarayonining nazariy asoslari	94
<i>Ravshanov Avaz Ali o'g'li, Nurxonov Xusan Almirza o'g'li, Nizomov To'liqin Najimovich, Eshtilavov Salohiddin Adilovich.</i> Saqlanish qonuni asosida yer osti kon lahimlarini ejeksiya jarayonini matematik modellarini tahlili	99
<i>Babayev Mirdodojon Sharoffjon o'g'li.</i> Aralash mis rudalaridan oltin va misni samarali ajratib olishning innovatsion texnologiyalari ..	103
<i>Voxidov Baxriddin Raxmidinovich, Babayev Mirdodojon Sharoffjon o'g'li, Yandashev Alisher Anvar o'g'li, Hamroyeva Muhabbat Habib qizi.</i> GMZ-2 sharoitida sorbsiyalash jarayoni chiqindi bo'tanalaridan rangli metallarni ajratib olish texnologiyasini tadqiq qilish	108

GEOLOGIYA VA NEFT-GAZ SANOATI

<i>Dustqobilov Eldor Nurmatovich, Yuldashev Tashmurza Raxmonovich, Djumabayev Alijon Bakishyevich.</i> Konlarda neft va gaz mahsulotlarini birlamchi yig'ish, saqlash va tashish uskunalariga ta'sir etuvchi omillar hamda ularning korroziyaga qarshiligi va gidroabraziv ishonchligini ta'minlash	113
<i>Hayitov Odiljon G'ofurovich, Orinboyev Baxtjon Ametovich.</i> Sharqiy Ustyurt o'lkasi gazkondensat konlarini izlash va o'zlashtirish sohasida o'tkazilgan geologik va texnologik tadbirlar samaradorligini tahlil qilish va baholash	118
<i>Jurayev Fazliddin Ochilxonovich.</i> Qashqadaryo botiqligidagi quyi bo'r yotqiziqlarining litologik-fatsial zonalligi	129
<i>Yuldashev Tashmurza Raxmanovich, Eshniyozov Akmal Dilmurodovich, Yuldashev Nuriddin Tashmurzayevich, Abdullayev Shaxzod Abdiraxmon o'g'li.</i> Tabiiy gazlarni MEA va DEA alkanolaminli eritmalar yordamida nordon komponentlardan tozalash jarayonining selektivligi	136
<i>Yuldashev Tashmurza Raxmanovich, Abdullayev Shaxzod Abdiraxmon o'g'li.</i> Metanol va tabiiy gazdan dimetil yoqilg'isini (DME) ishlab chiqarish va uni qayta ishlash texnologiyasini tanlash	144
<i>G'aybullayeva Anora Fayzullayevna, Mavlonov Shohrux Boboxon o'g'li, Mavlonov Babaxan.</i> Asfaltbeton qoplamalari uchun rezina kukuni va elastomerlarni modifikatsiyalash asosida polimer-bitum kompozitsiyalarini olish	152

Razikov Odiljon Toxirjonovich, Nurtayev Burxon Ximailovich, Nazarov Uzruh Xasanovich. Markaziy Qizilqumdagi karakata botiqligidagi quyi eotsen yotqiziqlarini madandorligi va ularni joylashish sharoitlari 156

KIMYOVIY TEXNOLOGIYA VA QURILISH

Turabov Nurmuhammad Turabovich, Todjiyev Jamoliddin Nasiriddinovich, Xayrullayeva Shahinabonu Lutfullo qizi. Rux ionini 4-(2-piridilazo)-rezorsin reagenti yordamida spektrofotometrik aniqlash 162

Mustafayev Muhammad-Ali Nurali o'g'li, Karimov Mas'ud Ubaydulla o'g'li, Djalilov Abdulahat Turapovich. Yuqori samarali quyosh elementini tayyorlash uchun mis asosli ftalosianin moddasini sintez qilish 169

Normamatov Farxod Haydarali o'g'li, Uljayeva Aziza Qahramon qizi, Inatova Moxichexra Ermat qizi. Kaliy nitrat ishlab chiqarishda texnologik parametrlarning ta'siri 173

Babajanov Jasurbek Egamovich, Mavlonov Shohrux Boboxon o'g'li, Hayitov Ruslan Rustamjonovich. JM-380 polipropilen markali termooksodestruksiya jarayoniga turli omillar ta'sirini tadqiq qilish 177

Isayeva Nurxon Farxatovna, Karimov Ma'sud Ubaydulla o'g'li, Jalilov Abdulahat Turabovich. Tarkibida alyuminiy oksidi bo'lgan mahalliy xomashyodan koagulyant olish texnologiyasini ishlab chiqish 183

Isayeva Nurxon Farxatovna, Karimov Ma'sud Ubaydulla o'g'li. Tashuvchilar va koagulyantlar olish uchun xlorli birikmalar bilan to'yingan ishlatilgan adsorbentlarni chuqur qayta ishlashga innovatsion yondashuvlar 189

Raxmonov Ikromjon Usmonovich, Xolixmatov Baxriddin Berdi o'g'li. Elektr yoyli pechlarda genetik algoritim asosida optimal tiristor boshqaruvi 194

YENGIL SANOAT TARMOQLARI

Imomaliyeva Shohsanam Faxriddin qizi, Dadamirzayev Doniyorbek Baxtiyor o'g'li, Maxkamov Anvar Muxamatxonovich, Nabijonov Mirzabek Muxammadsodiq o'g'li. Yengil sanoat mashinalari detallari mustahkamligini ilg'or kompozit materiallar orqali oshirish 200

Abdullajanov Botirjon Solijon o'g'li, Xolmatov Muhammadyusuf, Ergashxojayeva Sabohat, Shodmanov Jasur Abdumuhammadovich. Paxta tozalash korxonalarida elektrostatik chang ajratish texnologiyalarining joriy etishning ilmiy ahamiyati 205

EKOLOGIYA, MEHNAT MUHOFAZASI VA TEXNIKA XAVFSIZLIGI

Tursunova Munira Alisher qizi, Majidova Nargiza Qahramonovna, Majidov Qahramon Xalimovich. Junpiers excelsa (archadosh) turlaridan efir moyi olish kompleks va kombinatsion texnologiyasi ishlab chiqish va iqtisodiy baholash 210

Madarova Surayyo Uralovna, Boyirov Zafar Ravshanovich. Biomassa pirolizi mahsulotlaridan olinadigan yoqilg'i briketlarining O'zbekiston energetika salohiyatidagi o'rni 218

Jurayev Sherzod Sobirjonovich. Ko'p siklonli chang tutgichlarda bir vaqtning o'zida bosimni pasaytirish va samaradorlikni oshirish uchun integratsiyalashgan genetik-differensial evolyutsion yondashuv 222

Jurayev Sherzod Sobirjonovich. Havo sifatini nazorat qilishda ko'p siklonli chang ushlagichlar uchun vaqt bo'yicha aniqlashtirilgan va kinetik simulyatsiya tizimi 226

Otaxonov Maqsud Yusufovich, Babajanov Farruhbek Karimovich, Allayorov Davronjon Shamsiddinovich, Zokirov Ilhomjon Bahtiyor o'g'li. Beton qoplamali to'g'ri to'rtburchak kanallarda qirg'oq koeffitsiyentni aniqlash va uning tezlik taqsimotiga ta'sirini baholash .. 230

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И ОБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

<i>Гаффаров Азамат Алишерович, Атакулов Лазизжон Нематович.</i> Повышение эффективности эксплуатационных параметров автосамосвалов	10
<i>Рахмонов Икромжон Усмонович, Коржобова Махзуна Фахриддин кизи.</i> Повышение интенсивности технологического процесса сталеплавления на основе нечеткой логики	16
<i>Холикулов Донёр Бахтиёрович, Ходжиев Шохрух Тошпулатович, Шайманов Икром Исмаиулла угли, Худоймуратов Шухратжон Джумабоевич.</i> Технология извлечения диоксида кремния из металлургических отходов с использованием гидроксида натрия	22
<i>Ходжиев Шохрух Тошпулатович, Каршибоев Шерзод Бегмахамад угли, Худоймуратов Шухратжон Джумабоевич, Муталибханов Саидолохон Саидолихманович.</i> Исследование возможностей извлечения редких металлов из техногенных растворов	27
<i>Эльчиева Мохинур Дилишод кизи, Холикулов Донёр Бахтиёрович, Болтаев Олмос Наджмидинович, Ниязметов Бахтиёр Эргашевич.</i> Значение минерального состава окисленной медной руды при выборе технологии переработки	34
<i>Каюмов Умиджон Эркинович, Истамов Мухаммад Фарходович.</i> Анализ факторов влияющих на повышенный расход дизельного топлива карьерных автосамосвалов марки БелАЗ	42
<i>Турдиев Шахбоз Шермамат угли, Ганиев Баркамол Эшдавлат угли, Бобохонов Аббос Русланович.</i> Исследование технологии извлечения платины и палладия из отходов переработки платиноидов	48
<i>Мамаисакова Зебо Баходир кизи.</i> Разработка эффективной технологии обогащения медно-порфировых руд	55
<i>Акмалов Мансурхон Лутфуллаевич, Ларионов Сергей Владимирович, Юсупов Урал Садуллаевич, Мамирова Зулхумор Абдурашидовна.</i> Разработка и исследование технологии переработки медеэлектролитных шламов с извлечением металлов платиновой группы	61
<i>Караев Бахромджон Мамадиерович, Номдоров Рустам Уралович, Бобомуродов Азамат Юлдаш угли, Хасанов Шахзод Расул угли.</i> Оценка горно-технических условий добычи на месторождении Тюбегатан	73
<i>Вохидов Бахриддин Рахмидинович, Эшонкулов Учқун Худайназар угли, Рустамов Исломжон Илхомович.</i> Перспективы применения ионообменных процессов при извлечении благородных металлов из техногенных отходов молибденовой промышленности	78
<i>Хайитов Одилжон Гафурович, Гулмуродов Жавохир Нуриддин угли, Карамов Алишер Назарбаевич.</i> Волны и фаза давления при детонации взрывчатых веществ и их значение	84
<i>Ботиров Шохбос Соибович, Номдоров Рустам Уралович.</i> Мониторинг деформаций земной поверхности, вызванных подземными горными работами на месторождении Хондиза, на основе технологии InSAR и спутниковых изображений Sentinel-1	88
<i>Тайралиев Шерзод Тайрали угли, Эргашев Махмуд Ахбаралиевич, Эралиев Абдугаффор Анарбой угли.</i> Теоретические основы процесса разделения частиц на концентрационном столе	94
<i>Равшанов Аваз Али угли, Нурхонов Хусан Алмирза угли, Низомов Тулкин Нажимович, Эштилавов Салохиддин Адилевич.</i> Анализ математических моделей процесса эжекции в подземных горных выработках на основе закона сохранения	99
<i>Бабаев Мирдодожон Шарофжон угли.</i> Инновационные технологии эффективного извлечения золота и меди из смешанных медных руд	103
<i>Вохидов Бахриддин Рахмидинович, Бабаев Мирдодожон Шарофжон угли, Яндашев Алишер Анвар угли, Хамроева Мухаббат Хабиб кизи.</i> Исследование технологии извлечения цветных металлов из отходов сорбционного процесса в условиях ГМЗ-2 ...	108

ГЕОЛОГИЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

<i>Дусткобилов Эльдор Нурмаматович, Юлдашев Ташмурза Рахмонович, Джумбабаев Алижон Бакышевич.</i> Факторы, влияющие на оборудование для первичного сбора, хранения и транспортировки нефтегазовых продуктов в условиях месторождений, и обеспечение их коррозионной стойкости и надежности к гидроабразивному воздействию	113
<i>Хайитов Одилжон Гафурович, Орынбаев Бахтжон Аметович.</i> Анализ и оценка эффективности геолого-технологических мероприятий в области разведки и разработки газоконденсатных месторождений в восточно-Устюртском регионе	118
<i>Джураев Фазлиддин Очилхонович.</i> Литофациальная зональность нижнемеловых отложений Кашкадарьинской прогиба	129
<i>Юлдашев Ташмурза Рахманович, Эшнйёзов Акмал Дилмуродович, Юлдашев Нуриддин Ташмурзаевич, Абдуллаев Шахзод Абдирахмон угли.</i> Селективность процесса очистки природного газа от кислых компонентов с использованием алканоламиновых растворов MEA и DEA	136

<i>Юлдашев Ташмурза Рахманович, Абдуллаев Шахзод Абдирахмон угли.</i> Выбор технологии производства и переработки диметилового топлива (ДМЭ) из метанола и природного газа	144
<i>Гайбуллаева Анора Файзуллаевна, Мавлонов Шохрух Бобохон угли, Мавлонов Бабахан.</i> Получение полимер-битумных композиций на основе модификации резиновой крошкой и эластомерами для асфальтобетонных покрытий	152
<i>Разигов Одилжон Тохиржонович, Нуртаев Бурхон Химаилович, Назаров Узрух Хасанович.</i> Обогащенность полезными ископаемыми и условия залегания нижнеэоценовых отложений Каракатинской впадины в Центральных Кызылкумах	156

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО

<i>Турабов Нурмухаммад Турабович, Тоджиев Жамолiddин Насириддинович, Хайруллаева Шахинабону Лутфулло кизи.</i> Спектрофотометрическое определение ионов цинка с помощью реагента 4-(2-пиридилазо) резорцина	162
<i>Мустафаев Мухаммад-Али Нурали угли, Каримов Масуд Убайдуллаевич, Джалилов Абдулахат Турапович.</i> Синтез медьсодержащего фталоцианина для изготовления высокоэффективного солнечного элемента	169
<i>Нормаматов Фарход Хайдарали угли, Ульджаева Азиза Кахрамон кизи, Инатова Мохичехра Эрмат кизи.</i> Влияние технологических параметров при производстве нитрата калия	173
<i>Бабаджанов Джасурбек Эгамович, Мавлонов Шохрух Бобохон угли, Хаитов Руслан Рустамджонович.</i> Изучение влияния различных факторов на процесс термоокислительной деструкции полипропилена марки JM-380	177
<i>Исаева Нурхон Фархатовна, Каримов Маъсуд Убайдулла угли, Джалилов Абдулахат Турабович.</i> Разработка технологии получения коагулянта из местного сырья, содержащего оксид алюминия	183
<i>Исаева Нурхон Фархатовна, Каримов Маъсуд Убайдулла угли.</i> Инновационные подходы к глубокой переработке отработанных адсорбентов, насыщенных хлорсодержащими соединениями, для получения носителей и коагулянтов	189
<i>Рахмонов Икромжон Усманович, Холихматов Бахриддин Берди угли.</i> Оптимальное тиристорное управление на основе генетического алгоритма в дуговых электропечах	194

ЛЕГКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

<i>Имомалиева Шохсанам Фахриддин кизи, Дадамирзаев Дониёрбек Бахтиёр угли, Махкамов Анвар Мухаматхонович, Набижанов Мирзабек Мухаммадсодик угли.</i> Повышение прочности компонентов оборудования лёгкой промышленности с использованием современных композитных материалов	200
<i>Абдуллажанов Ботиржон Солижон угли, Холматов Мухаммадюсуф, Эргашходжаева Сабохат, Шодманов Джасур Абдумухаммедович.</i> Научная значимость внедрения электростатических технологий пылеудаления в хлопкоочистительных коронках	205

ЭКОЛОГИЯ, ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Турсунова Мунира Алишер кизи, Маджидова Наргиза Кахрамоновна, Маджидов Кахрамон Халимович.</i> Разработка комплексной и комбинированной технологии получения эфирного масла из видов <i>juniperus excelsa</i> (можжевельник высокий) и экономическая оценка	210
<i>Мадарова Сурайё Ураловна, Боиров Зафар Равшанович.</i> Роль топливных брикетов из продуктов пиролиза биомассы в энергетическом потенциале Узбекистана	218
<i>Джураев Шерзод Собиржонович.</i> Интегрированный генетико-дифференциальный подход к эволюции для одновременного снижения давления и повышения эффективности в мультициклонных пылеуловителях	222
<i>Джураев Шерзод Собиржонович.</i> Временно разрешённая и кинетическая модельная система для многоциклонных пылеуловителей в системах контроля качества воздуха	226
<i>Отахонов Максуд Юсуфович, Бабажанов Фаррухбек Каримович, Аллаёров Давронжон Шамсиддинович, Закиров Илхомджон Бахтиёр угли.</i> Определение коэффициента берега и оценка его влияния на распределение скоростей в прямоугольных бетонных каналах	230

CONTENTS

MINING METALLURGY AND MANUFACTURING INDUSTRY

<i>Gaffarov Azamat Alisherovich, Atakulov Lazizjon Nematovich.</i> Increasing the efficiency of the operational parameters of dump trucks	10
<i>Rakhmonov Ikromjon, Korjobova Makhzuna.</i> Improving the intensity of the steelmaking technological process based on fuzzy logic ..	16
<i>Kholikulov Donyor Bakhtiyorovich, Khojiev Shokhruxh Toshpulatovich, Shaymanov Ikrom Ismatulla ugli, Khudoymuratov Shukhrajon Jumaboyevich.</i> Technology for extracting silicon dioxide from metallurgical waste using sodium hydroxide	22
<i>Khojiev Shokhruxh Toshpulatovich, Karshiboyev Sherzod Begmaxamat ugli, Khudoymuratov Shukhrajon Jumaboevich.</i> Research on the possibilities of extracting rare metals from technogenic solutions	27
<i>Elchieva Mohinur Dilshod kizi, Kholikulov Donyor Bahtiyorovich, Boltaev Olmos Najmidinovich, Niyazmetov Bakhtiyor Ergashovich.</i> The importance of the mineral composition of oxidized copper ore in the selection of processing technology	34
<i>Kayumov Umidjon Erkinovich, Istamov Muhammad Farkhodovich.</i> Analysis of factors influencing the increased consumption of diesel fuel by BelAZ dump trucks in a quarry	42
<i>Turdiyev Shahboz Shermamat ugli, Ganiev Barkamol Eshdavlat ugli, Boboxonov Abbas Ruslanovich.</i> Study of the technology for extracting platinum and palladium from waste from platinoid processing	48
<i>Mamaisakova Zebo Bahodir kizi.</i> Development of an efficient technology for copper porphyry ore beneficiation	55
<i>Akmalov Mansurkhon Lutfullaevich, Larionov Sergey Vladimirovich, Yusupov Ural Sadullaevich, Mamirova Zulkhumor Abdurashidovna.</i> Development and study of a technology for processing copper electrolyte slimes with platinum group metals recovery	61
<i>Karaev Bakhromjon Mamadierovich, Nomdorov Rustam Uralovich, Bobomurodov Azamat Yuldash ugli, Khasanov Shakhzod Rasul ugli.</i> Assessment of mining and technical conditions for extraction at the Tyubegatan deposit	73
<i>Vokhidov Bakhridin Rakhmidinovich, Eshonkulov Uchkun Khudaynazar ugli, Rustamov Islomjon Ilkhomovich.</i> Prospects for applying ion-exchange processes in the extraction of precious metals from technogenic waste of the molybdenum industry	78
<i>Hayitov Odiljon Gafurovich, Gulmurodov Javohir Nuriddin ugli, Gulmurodov Javohir Nuriddin ugli.</i> The significance of wave propagation and pressure phase in explosive detonation processes	84
<i>Botirov Shokhbos Soibjon ugli, Nomdorov Rustam Uralovich.</i> Monitoring of land surface deformations induced by underground mining at the Khondiza deposit using InSAR technology and Sentinel-1 satellite imagery	88
<i>Tayraliev Sherzod Tayrali ugli, Ergashev Makhmud Akhbaraliyevich, Eraliev Abdugaffor Anarboy ugli.</i> Theoretical foundations of the concentration table particle separation process	94
<i>Ravshanov Avaz Ali ugli, Nurkhonov Khusan Almirza ugli, Nizomov Tulkin Najimovich, Eshtilov Salohiddin Adilovich.</i> Analysis of mathematical models of the ejection process in underground mine workings based on the law of conservation	99
<i>Babaev Mirdodojon Sharofjon ugli.</i> Innovative technologies for efficient extraction of gold and copper from mixed copper ores	103
<i>Vokhidov Bakhridin Rakhmidinovich, Babaev Mirdodojon Sharofjon ugli, Yandashev Alisher Anvar ugli, Hamroeva Muhabbat Habib kizi.</i> Study of the technology for extracting colored metals from waste plant materials using sorption in GMZ-2 conditions	108

GEOLOGY AND OIL-GAS INDUSTRY

<i>Dustkobilov Eldor Nurmatovich, Yuldashev Tashmurza Rakhmonovich, Djumabaev Alijon Bakishevich.</i> Factors affecting equipment for primary collection, storage and transportation of oil and gas products in fields, and ensuring their corrosion resistance and reliability against hydro-abrasive effects	113
<i>Hayitov Odiljon Gafurovich, Orynbaev Bakhtzhon Ametovich.</i> Analysis and evaluation of the efficiency of geological and technological measures in the field of exploration and development of gas condensate fields in the east Ustyurt region	118
<i>Juraev Fazliddin Ochilkhonovich.</i> Lithological-facies zonality of lower cretaceous deposits of the Kashkadarya trough	129
<i>Yuldashev Tashmurza Rakhmanovich, Eshniyozov Akmal Dilmurodovich, Yuldashev Nuriddin Tashmurzayevich, Abdullayev Shakhzod Abdirakhmon ogli.</i> Selectivity of natural gas purification from acidic components using MEA and DEA alkanolamine solutions	136
<i>Yuldashev Tashmurza Rakhmanovich, Abdullaev Shakhzod Abdirakhmon ugli.</i> Selection of technology for the production and processing of dimethyl fuel (DME) from methanol and natural gas	144
<i>Gaybullayeva Anora Fayzullayevna, Mavlonov Shohruxh Bobokhon ugli, Mavlonov Babakhan.</i> Development of polymer-bitumen compositions based on modification with rubber powder and elastomers for asphalt pavements	152
<i>Razikov Odiljon Tokhirjonovich, Nurtayev Burkhon Khimailovich, Nazarov Uzuhr Khasanovich.</i> Enrichment with mineral resources and occurrence conditions of the lower eocene deposits of the Karakatin depression in the Central Kyzylkum	156

CHEMICAL TECHNOLOGY AND CONSTRUCTION

- Turabov Nurmuhammad Turabovich, Todjiev Jamoliddin Nasiriddinovich, Xayrullaeva Shahinabonu Lutfullo kizi.** Spectrophotometric determination of zinc ions using 4-(2-pyridylazo)-resorcinol reagent 162
- Mustafaev Mukhammad-Ali Nurali ugli, Karimov Masud Ubaydulla ugli, Djalilov Abdulakhat Turapovich.** Synthesis of copper-containing phthalocyanine for the manufacture of a highly efficient solar cell 169
- Normamatov Farkhod Khaidarali ugli, Uljayeva Aziza Kahramon kizi, Inatova Mohichekhra Ermat kizi.** Technological in the production of potassium nitrate effect of parameters 173
- Babadjanov Jasurbek Egamovich, Mavlonov Shohrukh Boboxon ugli, Khaitov Ruslan Rustamjonovich.** Study of the influence of various factors on the thermo-oxidative degradation process of JM-380 grade polypropylene 177
- Isaeva Nurkhon Farkhatovna, Karimov Masud Ubaydulla ugli, Djalilov Abdulakhat Turabovich.** Development of a technology for obtaining a coagulant from local raw materials containing aluminum oxide 183
- Isaeva Nurkhon Farkhatovna, Karimov Masud Ubaydulla ugli.** Innovative approaches to the deep processing of spent adsorbents saturated with chlorine-containing compounds to obtain carriers and coagulants 189
- Rakhmonov Ikromjon Usmanovich, Kholikhmatov Bakhiddin Berdi ugli.** Optimal thyristor control based on genetic algorithm in electric arc furnaces 194

LIGHT INDUSTRIES

- Imomalieva Shohsanam Faxriddin kizi, Dadamirzaev Doniyorbek Baxtiyor ugli, Maxkamov Anvar Muxamatxonovich, Nabijanov Mirzabek Muxammadsodiq ugli.** Durability enhancement of light industry machinery components through advanced composite materials 200
- Abdullajanov Botirjon Solijon ugli, Kholmatov Mukhammadyusuf, Ergashkhodzhaeva Sabohat, Shadmanov Jasur Abdumukhammedovich.** Scientific significance of the introduction of electrostatic dust separation technologies in cotton cleaning crowns 205

ECOLOGY, LABOR PROTECTION AND TECHNICAL SAFETY

- Tursunova Munira Alisher kizi, Majidova Nargiza Kahramonovna, Majidov Kahramon Khalimovich.** Development of complex and combined technology for obtaining essential oil from juniperus excelsa species (tall junipers) and economic evaluation 210
- Madarova Surayyo Uralovna, Boyirov Zafar Ravshanovich.** The role of fuel briquettes from biomass pyrolysis products in the energy potential of Uzbekistan 218
- Djurayev Sherzod Sobirjonovich.** Integrated genetic-differential evolution approach for simultaneous pressure-drop reduction and efficiency enhancement in multi-cyclone dust collectors 222
- Djurayev Sherzod Sobirjonovich.** Time-resolved and kinetic simulation framework for multicyclone dust collectors in air-quality control 226
- Otakhonov Maksud Yusufovich, Babajanov Farrukhbek Karimovich, Allayorov Davronjon Shamsiddinovich, Zakirov Ilkhomjon Bakhtiyor ugli.** Determination of the bank coefficient and evaluation of its effect on velocity distribution in rectangular concrete-lined channels 230

KON-METALLURGIYA VA ISHLAB CHIQRISH SANOATI
ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И ОБРАБАТЫВАЮЩАЯ
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
MINING METALLURGY AND MANUFACTURING INDUSTRY

UO‘K: 629.33:621.867:519.6

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.6

AVTOSAMOSVALLAR EKSPLOATATSION PARAMETRLARI
SAMARADORLIGINI OSHIRISH



Gaffarov Azamat Alisherovich

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti tayanch
doktoranti, Navoiy, O‘zbekiston



Atakulov Lazizjon Ne‘matovich

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti “Kon
elektromexanikasi” kafedrası mudiri professor,
Navoiy, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada karyer sharoitida ishlatiladigan avtosamosvallarning konstruktiv xususiyatlari va ularning ekspluatatsion parametrlarini optimallashtirish masalalari ko‘rib chiqilgan. Avtosamosval harakati davomida yo‘l notekisligi va yuk markazining siljishi natijasida hosil bo‘ladigan tebranish jarayonlari matematik modellashirilgan. Lagranj tenglamalari asosida tebranishlarning chastotasi, amplitudasi va fazasi aniqlanib, oldi va orqa g‘ildiraklar orasidagi yuk taqsimotiga ta’siri tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari avtosamosval ramasi va asosiy elementlarida yuzaga keladigan mexanik zo‘riqishlarni baholashga, ularning mustahkamlik chegarasini aniqlashga hamda notekis yo‘llarda harakatlanish samaradorligini oshirishga imkon beradi. Natijalar ekspluatatsiya jarayonida qo‘shimcha yoqilg‘i sarfini kamaytirish va agregatlarning xizmat muddatini uzaytirishga xizmat qiladi. **Kalit so‘zlar:** avtosamosval, ekspluatatsion parametrlar, matematik model, Lagranj funksiyasi, tebranish chastotasi, amplituda, mustahkamlik chegarasi, yo‘l notekisligi.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
ПАРАМЕТРОВ АВТОСАМОСВАЛОВ

Гаффаров Азамат Алишерович

Базовый докторант, Навоийский государственный горный и
технологический университет, Навои, Узбекистан

Атакулов Лазизжон Нематович

Профессор, заведующий кафедрой «Горная электромеханика»
Навоийского государственного горно-технологического
университета, Навои, Узбекистан

Аннотация. В статье рассмотрены конструктивные особенности карьерных автосамосвалов и вопросы оптимизации их эксплуатационных параметров. Проведено математическое моделирование процессов вибрации, возникающих при движении автосамосвала по неровной дороге и смещении центра тяжести груза. На основе уравнений Лагранжа определены частота, амплитуда и фаза колебаний, а также проанализировано влияние распределения нагрузки между передними и задними колесами. Результаты исследования позволяют оценить механические напряжения, возникающие в раме и основных элементах автосамосвала, определить их предел

прочности и повысить устойчивость движения по неровным дорогам. Полученные данные способствуют снижению дополнительного расхода топлива и увеличению срока службы агрегатов.

Ключевые слова: автосамосвал, эксплуатационные параметры, математическая модель, функция Лагранжа, частота колебаний, амплитуда, предел прочности, неровности дороги.

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE OPERATIONAL PARAMETERS OF DUMP TRUCKS

Gaffarov Azamat Alisherovich

Basic doctoral student, Navoi State Mining and Technology
University, Navoi, Uzbekistan

Atakulov Lazizjon Nematovich

Professor, Chairman of the Department of "Mining
Electromechanics" of Navoi State Mining and Technology
University, Navoi, Uzbekistan

Abstract. This article examines the design features of mining dump trucks and the issues of optimizing their operational parameters. Mathematical modeling of vibration processes arising during dump truck movement over uneven roads and due to the shift of the cargo center of gravity has been carried out. Based on Lagrange equations, the vibration frequency, amplitude, and phase were determined, and the effect of load distribution between the front and rear wheels was analyzed. The research results make it possible to assess the mechanical stresses in the dump truck frame and main components, determine their strength limits, and improve stability when operating on uneven roads. The findings contribute to reducing additional fuel consumption and extending the service life of the units.

Keywords: dump truck, operational parameters, mathematical model, Lagrange function, vibration frequency, amplitude, strength limit, road unevenness.

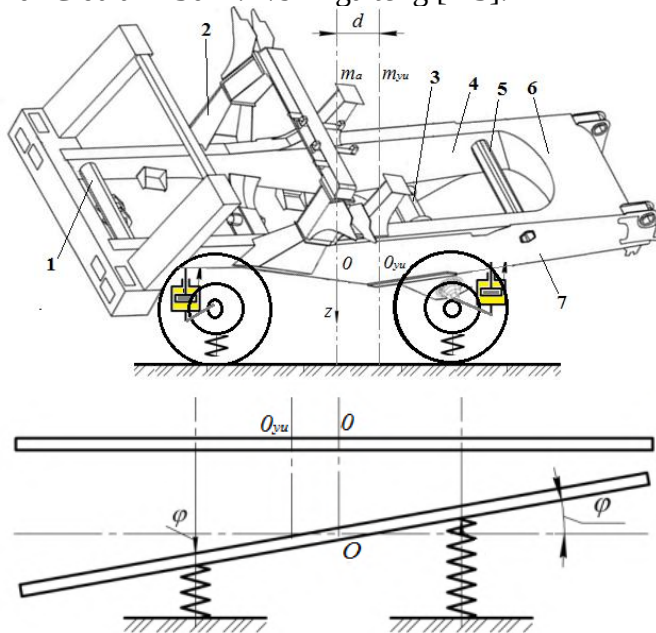
Kirish. Karyerlarda avtosamosvallarning avtoyo'llar bo'ylab harakatlanishi jarayonida yuzaga keladigan tebranishlarni tizimli o'rganish katta amaliy ahamiyatga ega. Ushbu masalani hal etish avtosamosval jihozlariga ta'sir qiluvchi kuchlarni hisoblash, ularning xavfsizlik chegaralarini, aylanma qarshilik darajasini hamda boshqa ishlash ko'rsatkichlarini aniqlash imkonini beradi. Shuningdek, avtosamosvalning konstruktiv elementlariga ta'sir etuvchi kuchlarning kattaligi va yo'nalishi aniqlangach, turli chuqurlikdagi o'yuqlar mavjud bo'lgan karyer texnologik yo'llarida harakatlanish vaqtida uning asosiy elementi — ramada yoriqlar va sinishlar paydo bo'lishi mumkin. Yo'l notekisligidan kelib chiqadigan kinematik qo'zg'aluvchan tebranishlar, jumladan, avtosamosvalning tekis bo'lmagan yo'l qoplamasidan o'tishi vaqtida bajariladigan umumiy ishni aniqlash uchun asosiy energiya munosabatlari hisoblanadi. Natijada, karyer bo'ylab harakat jarayonida qo'shimcha yoqilg'i sarfi ortadi.

Materiallar va usullar. Avtosamosval ramasi va yo'l yuzasi o'rtasidagi bog'lovchi vazifasini osma tizim oldi va orqa osmalar bajaradi. Oldi va orqa osmalar silindrlarining bo'shlig'idagi gaz bosimi

$3,15 \pm 0,025$ va $3,79 \pm 0,028$ MPa ni tashkil qiladi. Osma silindrda ishlaydigan suyuqlik sifatida azotli amortizator suyuqligi ishlatiladi. Rama ikkita 4 va 7 lonjerondan va ko'ndalang o'rnatilgan metallarni payvandlash yoki shtamplash orqali biriktiriladi (1-rasm).

Lonjeronlar rama uzunligi bo'ylab o'zgaruvchan balandlikdagi qutti shaklidagi qismga ega. Birinchi ko'ndalang metall 1 diametri 245x45 mm bo'lgan trubadan yasalgan va oldingi o'qning markaziy richagi kronshteyn orqali biriktirilgan. Ikkinchi ko'ndalang metall 2 bu rama yon qismlarini birlashtiruvchi pastki ko'ndalang metallardan, oldingi osma ramaga kronshteynlar orqali biriktirilgan. Oldingi osma ko'ndalang shtanga pastki ko'ndalang metallga biriktirilgan. Yon lonjeronlarga uchinchi ko'ndalang metall 3 payvandlangan, u ramaning o'rta qismini mustahkamlaydi. Orqa ko'priknining markaziy richagi uchinchi ko'ndalang metallga biriktirilgan. Og'darish mexanizmi tsilindrlarining pastki tayanchlari, kronshteynlar uchinchi ko'ndalang metallning uchlariga payvandlanadi. Ulangan ikkita diametri 325x36 mm bo'lgan quyma quvur tayanchdan iborat. Lonjeronlar va ko'ndalang metallar 10HSND

GOST19281-89 markali legirlangan po‘latdan yasalgan. 10XSND markali legirlangan po‘lat rama quyidagi mexanik xossalarga ega: cho‘zilish chidamliligi $\sigma_V = 540$ MPa, oquvchanligi $\sigma_T = 400$ MPa, zarba kuchi minus 70°C da $a_N = 30$ N.m/sm² ga teng. Platforma esa yuqori sifatli, yedirilishga bardoshli 18XGNMFR markali legirlangan po‘latdan yasaladi va uning mexanik xususiyatlar quyidagicha: cho‘zilish chidamliligi $\sigma_V = 1100$ MPa, oquvchanligi $\sigma_T = 1000$ MPa, zarba kuchi minus 40°C da $a_N = 30$ N.m/sm² ga teng [1-3].



1-rasm. Umumlashtirilgan koordinatalarini hisobiy sxemasi.

Differentsial tenglamalar tuzish va avtosamosvalning massa markazidan o‘tadigan gorizont o‘q, ya‘ni rama atrofida tebranishlar 1-rasmda umumlashtirilgan koordinatalarini hisobiy sxemasi shaklida keltirilgan. Avtosamosval o‘zining vertikal bo‘ylama tekisligida tebramayotganligi sababli, tizim ikki erkinlik darajasiga ega. Umumlashtirilgan koordinatalar uchun avtosamosvalning O massa markazining vertikal siljishini Z va uning aylanish burchagi ϕ ni avtosamosval o‘qlariga parallel ravishda o‘tadigan o‘q atrofida olinadi.

Natijalar. Avtosamosval harakatlanishida kuzovdagi yuklarning markazdan ma‘lum bir masofaga siljishi natijasida oldi va orqa g‘ildiraklarda markazga nisbatan tebranish harakati vujudga keladi. Bu tebranish jarayoni murakkab

bo‘lganligi uchun Lagranj funksiyasi orqali yechimi tahlil qilindi.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q} = 0 \quad (1)$$

bu yerda; L - Lagranj funksiyasi, $L = E_K - E_P$,

E_K , E_P - avtosamasval kinetik va potensial energiyasi (Joul), q - umumlashgan koordinatalar sistemasi avtosamasval kuzoviga yuk ortilgandan keyin tekis parallel harakat qilishi natijasida quyidagi kinetik energiyalar hosil bo‘ladi.

$$E_K = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} = \frac{Q}{2g} (\dot{x}^2 + \rho^2 \dot{\varphi}^2) \quad (2)$$

Potensial energiyalari: $E_P = E_{P1} + E_{P2}$,

E_{P1} - avtosamosval og‘irlik kuchining potensial energiyasi (Joul), E_{P2} - avtosamosval osmalarining potensial energiyasi (Joul).

$$E_{P1} = -Qx \quad (3)$$

$$E_{P21} = \frac{k_1}{2} (x_0 + x - l\varphi)^2,$$

$$E_{P22} = \frac{k_2}{2} (x_0 + x + l\varphi)^2; \quad (4)$$

bu yerda; Q - yuk va avtosamosval og‘irlik kuchi (kg), x_0 - osmaning muvozanat xolatidagi boshlang‘ich koordinatasi, l - ikki g‘ildirak orasidagi masofa (m), φ - avtosamosval ramasining goorizont bilan tashkil qilgan burchagi (gradus), k_1 - orqa g‘ildirakdagi osmaning bikrligi (N/m), k_2 - oldi g‘ildirakdagi osmaning bikrligi (N/m).

Umumiy potensial energiya Lagranj funksiyasiga quyidagicha bo‘ladi

$$E_P = -Qx + k[(x_0 + x)^2 + l\varphi^2], \quad (5)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} \right) = \frac{Q}{g} \rho^2 \ddot{\varphi},$$

$$\frac{\partial L}{\partial \varphi} = -2kl^2\varphi, \quad (6)$$

Yuqoridagi tenglamalardan quydagicha sistema hosil bo‘ladi.

$$\frac{Q}{g} \rho^2 \ddot{\varphi} + 2kl^2\varphi = 0, \quad (7)$$

agar $2kx_0 = Q$ bo‘lsa,

$$\frac{Q}{g} \ddot{x} + 2kx = 0, \quad (8)$$

Garmonik tebranishlar nazariyasiga asosan tebranishlar fazasi va burchagi quyidagicha

$$x = A \sin(\omega_1 t + a);$$

$$\varphi = B \sin(\omega_2 t + \beta); \quad (9)$$

bu yerda; ω_1 , ω_2 - tebranish chastotasi (rad/s),

oldi va orqa tomondagi osmalarining umumiy bikrligi,

$$k_2 = \frac{c_1 c_0}{c_1 + c_0};$$

$$k_1 = \frac{2C_2C_0}{C_2 + 2C_0}, \quad (10)$$

Umumiy og'irlik kuchi

$$Q = (m_{yuk} + m_a)g; \quad (11)$$

Yuqoridagi garmonik tebranishlar tenglamasidan quyidagi chastotalar aniqlandi.

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{2k_1g}{Q}},$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{2k_2gl^2}{Q\rho^2}}; \quad (12)$$

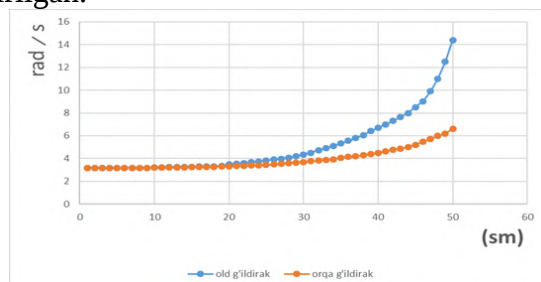
Avtosamosval uchun orqa va oldi g'ildiraklari uchun tebranish chastotalari quyidagicha,

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{2C_1C_0g}{(C_1 + C_0)(m_{yuk} + m_a)}},$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{4C_2C_0gl^2}{(C_2 + 2C_0)(m_{yuk} + m_a)\rho^2}}; \quad (13)$$

Ikki g'ildiraklarni tebranish chastotalari matematik jihatdan ikki xil qonuniyat asosida farqlanadi asosan yuk qo'yilish masofasi bu tebranishlarni turlicha qilishi mumkin. Majburiy tebranma harakat va garmonik (erkin) tebranma harakatda davom etilishi maqsadga muvofiq bo'ladi.

Agar massa markazi kuzovning massa markazidan $\rho = 1 \div 50$ sm gacha o'zgarishini, $Q = 324$ (tonna), $C_0 = 2.5 \cdot 10^6$ (N/m), $C_1 = 2 \cdot 10^6$ (N/m), $C_2 = 2.2 \cdot 10^6$ (N/m), $l = 6.65$ (m), bo'lganda ikki g'ildirakdagi tebranishlar chastotasi 2-rasmda keltirilgan.

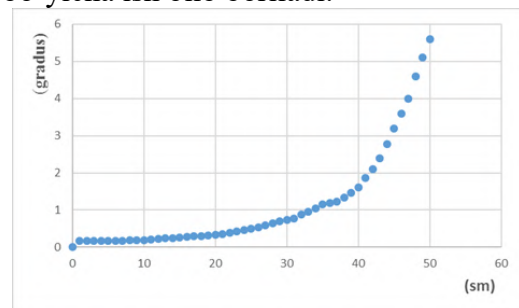


2-rasm. Oldi va orqa g'ildirakda hosil bo'luvchi tebranish chastotasi.

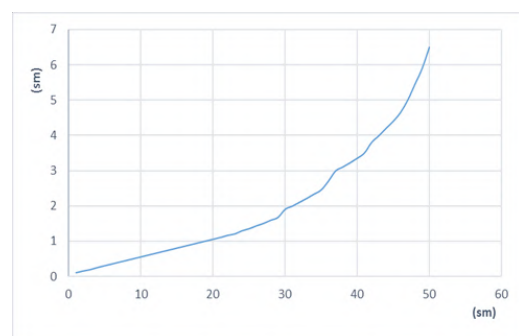
Tezlik o'zgarish holida massa markazi muvozanat vaziyatidan ma'lum bir masofaga siljigan onda g'ildiraklarda hosil bo'ladigan tebranish chastotalari 2-rasmda keltirildi. Oldi g'ildirakda massa markazi muvozanatdan katta santimترلarga siljiy boshlasa chastotalar farqi bir biridan yuqori darajada farq qila boshlaydi. 1 sm ko'chishda chastota ikki g'ildirakda 3,171 va 3.174 rad/s atrofida bo'la boshlaydi. Agar bu ko'chish 50 sm

bo'lsa 14,4 va 6.6 rad/s qiymatlar qayt etildi. Karyer avtosamosvallarining ekspluatatsiya jarayonida gorizontol holatda massa markazining 0 dan 50 sm gacha siljishi orqa g'ildirakning chastotasi 6.6 rad/s ni, oldi g'ildirakning chastotasini 14.4 rad/s ga tenglashishini ko'rsatdi. Ushbu qiymatlar avtosamosvallar ekspluatatsiya jarayonada silkinishlar evaziga og'irlik markazining kochishini bildiradi [5]. Agar qiymatlarni 9-ifodaga bog'liq holda o'zgarishi hisobga olinsa, tebranishlar fazasi va burchagi 3-rasmdagidek bo'ladi.

Massa markazi qochishi evaziga avtosamosval ramasida gorizontol hosil bo'ladigan burchak o'zgarishi paydo bo'ladi. Ushbu qiymatlar 3-rasmda keltirilgan bo'lib, og'irlik markazining ko'chishi bilan avtosamosvalning gorizontol tekislikda qiyalik burchakning hosil bo'lishi bilan izohlanadi. Albatta ushbu burchakning maksimal qiymati bo'yicha ish olib boriladi.



3-rasm. Massa markazi qochishi evaziga avtosamosval ramasida hosil bo'ladigan burchak o'zgarishi.

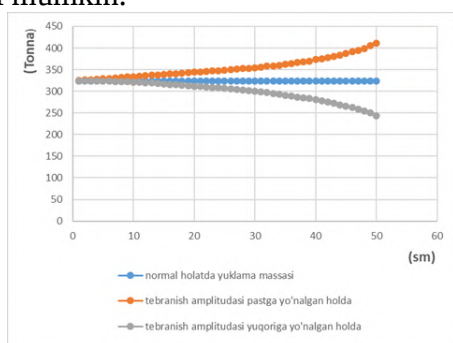


4-rasm. Ramani normal holatidan og'ish masofasi grafigi.

Avtosamosvalning gorizontol tekislikda ramada hosil bo'lgan burchak qiymati orqali siqilish masofasini grafigi 4-rasmda keltirilgan. Demak og'ish masofasi maksimal 6.5 sm ni tashkil qilsa yuqoridagi 7-ifoda orqali yuklamalarni erkin tushish

tezlanishiga nisbat olgan holda ifodalanadi [6-10].

Notekis yo'lda avtosamosval harakatlanayotganda massa markazining gorizontaal siljishi va massa markazidan o'tadigan gorizontaal o'q atrofida massaning aylanish burchagi garmonik tebranishlarni ifodalaydi. Yuklangan avtosamosval uchun tabiiy tebranishlarning siklik chastotasi yuklanmaganiga nisbatan bir oz pasayadi, buning sababidan inertsiya kuchlari o'zgaradi. Tebranishlar amplitudasi yo'l qo'yib bo'lmaydigan darajada katta bo'ladigan notekis yo'lda harakatlanayotganda avtosamosvalning harakati har doim keskin tezligi mavjudligi, buning natijasida avtosamosval jihozlariga yuklanish qabul qilinishi mumkin bo'lmagan darajada oshadi [4,6]. Tebranishlar natijasida avtosamosval ishchi qismlarida sinish, buralish, cho'zilish va bir nechta deformatsiya holatlari kelib chiqishi mumkin.



5-rasm. Tebranma holatda vujudga keluvchi yuklamani massa orqali ifodalovchi grafik.

5-rasmda avtosamosval 30 km/soat tezlik bilan umumiy yuk miqdori 324 tonnani tashkil qilganda va massalar markazi 50 sm ga farq qilgan avtosamosvalda 441 tonna yuk miqdoriga teng keluvchi yuklama hosil bo'lishi aniqlandi [8]. Maqolada qarab chiqilayotgan avtosamosvalda cho'zilish chidamliligi $\sigma V=540$ Mpa tashkil qilsa bu yetarli shart hisoblanadi lekin tezlik 45 km/soat tezlik bilan umumiy yuk miqdori 324 tonnani tashkil qilganda va massalar markazi 50 smgacha farq qiladi. Bunday yuklama hosil bo'lishida ramanning materiali mustahkamlik chegarasi yuqoriroq bo'lmasa sinish, buralish va cho'zilish holatlari kuzatiladi.

Xulosa. Avtosamosvallar normal holatda yuklash massasidan kelib chiqib, harakatlanish davomida inertsiya kuchi va tortish kuchlari natijasida yuzaga keladigan amplitudaviy tebranishlar yuqori chastotasida nominal kuchning 36% ga oshishi va pastki chastotada esa 24% ga kamayishi umumiy amplitudaning yuqori va pastki chastotalar farqini 60% ni tashkil etdi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Mislibaev I.T., Makhmudov A.M., Makhmudov Sh.A. Theoretical generalisation of functioning modes and modelling of operational indicators of excavators. // Mining information-analytical bulletin. - 2021. №1. c. 102-110. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-102-110
2. Sherzod Makhmudov, Azamat Makhmudov, Lochin Khudojberdiev, Izzat Rakhmonov, "Criteria for assessing the performance of mining and transport equipment of mining enterprises," Proc. SPIE 12986, Third International Scientific and Practical Symposium on Materials Science and Technology (MST-III 2023), 129860P (19 January 2024); doi: 10.1117/12.3017722
3. Zhuraev, A.S., Turdiyev, S.A., Jurayev, S.T., Salimova, S.S.Q. Characteristics of packing gland seals in hydraulic systems of quarry excavators and results of comparative analysis of experimental tests Vibroengineering Procedi., 2024, 54, 252–257 p.
4. Khamzaev Akbar, A., Toshov Buri, R., Niyetbayev Arislanbek, D. Improvement of soft starter circuit for high-voltage and high-power asynchronous motors. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2023, 12616, 126160U.
5. Zokhidov, O. U.; Khoshimov, O. O.; Khalilov, Sh. Sh. Experimental analysis of microgases installation for existing water flows in industrial plants. III International Conference on Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture (EESTE2023), E3S Web of Conferences, Volume 463, id.02023. October 2023.

6. Azamatovich, N., Abdullayev, S., Zhuraev, A., Turdiyev, S. Experimental study of improved constructions increasing the efficiency of ball mill protective coatings used in enrichment factories. E3S Web of Conferences., 2024, 525, 06006.
7. Toirov, O., Pirmatov, N., Khalbutaeva, A., Jumaeva, D., Khamzaev, A. Method of calculation of the magnetic induction of the stator winding of a spiritual synchronous motor. E3S Web of Conferences., 2023, 401, 04033.
8. Akbar, K., Sadovnikov, M., Toshov, B., Rakhmatov, B., Abdurakhmanov, U. Automation measures for mine fan installations. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering., 2024, 12986, 129860R.
9. Sagatov N.Kh., Melikulov A.D., Shamirzaev Kh.Kh. Underground mining of mineral deposits. Study guide. Tashkent, TDTU, 2004.-170 p.
10. Buri, T., Akbar, K. Development of Technical Solutions for the Improvement of the Smooth Starting Method of High Voltage and Powerful Asynchronous Motors. AIP Conference Proceedings., 2023, 2552, 04001.

UDC: 621.365.3

 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.7

IMPROVING THE INTENSITY OF THE STEELMAKING TECHNOLOGICAL PROCESS BASED ON FUZZY LOGIC



Rakhmonov Ikromjon

D.Sc., Prof, Head of the Department of Power Supply, Tashkent
State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

E-mail: ilider1987@yandex.ru

ORCID ID: 0000-0003-2076-5919



Korjobova Makhzuna

PhD Student of the Department of Power Supply, Tashkent State
Technical University, Tashkent, Uzbekistan

E-mail: mahzunaqorjobova@gmail.com

ORCID ID: 0009-0001-2959-9585

Abstract. This article analyzes the application of a fuzzy logic system for controlling complex and uncertain technological processes occurring in a 30-ton Electric Arc Furnace (EAF-30). Research findings show that 80% of the melting process (42 minutes) is carried out using an electric arc. In traditional control systems, rapid fluctuations in arc current exceeding or falling below 17 kA have been identified as a cause of process interruptions. Therefore, this study proposes the fuzzification of arc current, voltage, and arc length using Gaussian membership functions. Based on critical thresholds—arc current in the range of 17–38 kA and voltage from -6% to +8%—linguistic variables were developed. Using the Mamdani algorithm, optimal electrode control during the 17–20-minute melting phase ensures improved energy efficiency, reduced electrode consumption, and increased product output. The research results demonstrate that integrating Fuzzy control into traditional systems is an effective approach for intensifying the steelmaking technological process.

Keywords: steelmaking, Fuzzy logic, arc current, arc length, Gaussian function, Mamdani algorithm, automatic control, electrodes movement.

ПОВЫШЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СТАЛЕПЛАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Рахмонов Икромжон Усмонович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
«Электроснабжение» Ташкентского государственного
технического университета, Ташкент, Узбекистан

Коржобова Махзуна Фахриддин кизи

PhD Докторант кафедры «Электроснабжение»
Ташкентского государственного технического университета,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В данной статье проанализировано применение системы нечеткой логики для управления сложными и неопределенными технологическими процессами, происходящими в 30-тонной электродуговой сталеплавильной печи (ДСП-30). Результаты исследований показали, что 80% процесса плавки (42 минуты) осуществляется с использованием электрической дуги. В традиционных системах управления выявлены перебои в процессе, вызванные резкими колебаниями дугового тока выше или ниже порогового значения 17 кА. В связи с этим в работе предложена фаззификация дугового тока, напряжения и длины дуги на основе гауссовских функций принадлежности. Разработаны лингвистические переменные на основе критических границ: ток дуги в диапазоне 17–38 кА и напряжение от -6% до +8%. С использованием алгоритма Мамдани обеспечено оптимальное управление движением электродов в течение 17–20 минутной фазы плавки, что позволило повысить энергетическую эффективность, снизить расход электродов и увеличить производительность. Результаты исследования подтверждают,

что интеграция нечеткой логики в традиционные системы управления является эффективным решением для интенсификации сталеплавильного технологического процесса.

Ключевые слова: сталеплавление, нечеткая логика, ток дуги, длина дуги, гауссовская функция, алгоритм Мамдани, автоматическое управление, движение электродов.

FUZZY MANTIG'I ASOSIDA PO'LAT ERITISH TEXNOLOGIK JARAYONI INTENSIVLIGINI OSHIRISH

Raxmonov Ikromjon Usmonovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department
of Electrical Supply, Tashkent State Technical University,
Tashkent, Uzbekistan

Qorjobova Mahzuna Faxriddin qizi

PhD Doctoral student of the Department of Electrical Supply,
Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

Annotatsiya. Ushbu maqolada 30 tonnalik elektrda po'lat eritish pechida (DSP-30) yuz beradigan murakkab va noaniq texnologik jarayonlarni boshqarishda fuzzy mantiq tizimining qo'llanilishi tahlil qilinadi. Tadqiqotlar natijasida aniqlandiki, eritish jarayonining 80 foizi (42 daqiqa) elektr yoy yordamida amalga oshiriladi. An'anaviy boshqaruv tizimlarida elektr yoy toki 17 kA dan keskin oshib yoki kamayib ketishi natijasida ishlab chiqarish to'xtab qolish holatlari aniqlangan. Shu sababli, maqolada Fuzzy tizimi orqali elektr yoy toki, kuchlanishning Gauss funksiyalari asosida fuzzifikatsiya qilingan. Elektr yoy tokining 17–38 kA, kuchlanishning -6% dan +8% gacha bo'lgan kritik chegaralari asosida lingvistik toifalar ishlab chiqilgan. Mamdani algoritmi asosida 17–20 daqiqalik eritish davrida elektrodning optimal boshqaruvi ta'minlanib, energiya tejamliligi, elektrod sarfi kamayishi va mahsulot unumdorligi oshishi kabi natijalarga erishilgan. Tadqiqot natijalari Fuzzy boshqaruv tizimining an'anaviy tizimlarga integratsiya qilinishi orqali po'lat eritish texnologik jarayonining samarali boshqaruvni ta'minlashi asosida texnologik jarayon intensivligini oshirishni aniqlangan.

Kalit so'zlar: po'lat eritish, Fuzzy mantiq'i, elektr yoy toki, yoy uzunligi, Gauss funksiyasi, Mamdani algoritmi, avtomatik boshqaruv, elektrodlar harakati.

Introduction. The metallurgical industry is one of the most important strategic sectors of a country's economy. This sector is developing not only by increasing production volumes but also through the expansion of export potential and modernization of technologies. In recent years, both the number of enterprises operating in the metallurgical industry and the volume of manufactured products have grown significantly. Specifically, while there were 974 enterprises in 2020, their number reached 1289 in 2024 as a result of the establishment of small and medium-sized joint ventures. These enterprises are divided into ferrous and non-ferrous metallurgy sectors based on the production process, with ferrous metallurgy being more complex and energy-intensive compared to the processing of non-ferrous metals. Furthermore, due to ongoing developments in construction and the economy in Uzbekistan, the demand for steel products as a leading product in the ferrous metallurgy sector is continuously increasing. However, it should be noted that the

steelmaking process is one of the most complex technological processes to control automatically. In steel production technology, melting the primary charge using electrodes is significantly more complex and energy-intensive than rolling semi-finished steel products. Therefore, conducting research in the field of control systems for steelmaking technological processes in electric arc furnaces (EAFs) is of critical importance.

Literature analysis and methods. It is well known that the steelmaking process is multi-stage and non-linear in nature. Due to this non-linearity, the electrical parameters of the arc change sharply in a short period of time [1, 2, 3, 4]. This, in turn, complicates the optimal control of electrode movement, which is primarily based on maintaining the electric arc length within an optimal range. In such a complex process, the automatic control system in electric arc furnaces must operate rapidly and reliably. In this context, the electric arc current becomes a critical variable that directly affects the arc length between the electrodes and the metal

during the melting of the primary charge. In short, due to the complexity, non-linearity, and dynamic nature of the EAF technological process, the application of expert operational knowledge becomes essential. Therefore, integrating modern and intelligent digitalization technologies to effectively monitor electrode movement speed and arc length in such a complex and non-linear process will enable the reduction of electrode wear and electric energy consumption.

For the development of a modern control system for the steelmaking technological process, a 30-ton EAF-30 currently operating in the republic was selected as the research object. In this furnace, a semi-finished steel product is produced in 55 minutes, of which 42 minutes—or 80% of the process time—is spent on electric arc melting. A hydraulic power regulator is used as the drive mechanism to control electrode movement, which is integrated into a PLC (Programmable Logic Controller) cabinet. The S7-1500 controller is installed in the PLC cabinet, and electrode movement is regulated using the TIA-Portal programming environment based on the control of arc length. When the EAF-30 is activated, due to the presence of solid scrap metal, arc current fluctuates sharply and the phase current imbalance increases. As a result, the arc current often exceeds the setpoint, and traditional control systems face significant challenges in maintaining precise current values during these rapid fluctuations. Consequently, abrupt increases or decreases in arc current can lead to interruptions in the steelmaking process, negatively impacting productivity.

Based on the practical and scientific studies conducted, it was determined that the use of fuzzy logic based on artificial intelligence is an effective approach to address the problems faced by current digitized control systems in steelmaking. Fuzzy logic is particularly well-suited for processes with nonlinear and complex dynamics and can be easily integrated into existing traditional control architectures [5, 6, 7, 8, 9]. A Fuzzy logic-based control system can adapt to variations in arc current and voltage values, and in a nonlinear system, it allows for optimal regulation of electrode movement to maintain arc length within acceptable limits [10,11]. By adjusting the arc length using Fuzzy logic, electrode breakage can be minimized,

electrode consumption reduced, and the intensity of the steelmaking process increased, leading to improved product yield.

Results. Based on the above analysis, it is necessary to develop a control system within the fuzzy logic framework that can account for even the smallest variations in electric arc parameters. The functional sequence of managing electrode movement and maintaining arc length within optimal limits using Fuzzy logic in an (EAF) is presented in figure 1.

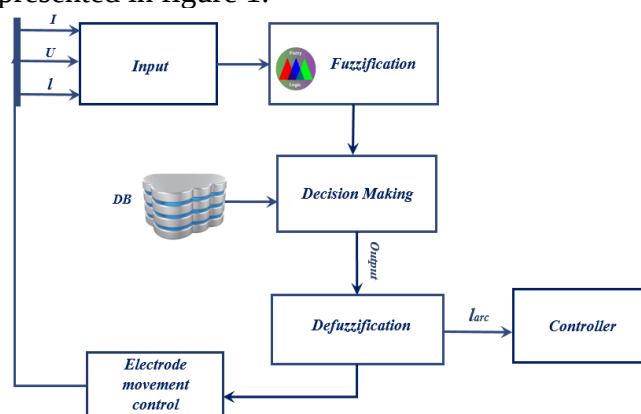


Figure 1. Sequence diagram of regulating electrode movement based on Fuzzy logic to maintain optimal arc length.

As shown in figure 1, the development of a Fuzzy control system for regulating electrode movement in the EAF-30 involves the following stages: initially, the input parameters must be transformed into Fuzzy linguistic sets through a fuzzification process. For this purpose, Fuzzy logic membership functions were developed for the variations in arc current, arc voltage, and arc length.

At the beginning of the primary charge melting process in the EAF, the minimum arc current value starts at 17 kA. Therefore, the lowest acceptable current value was set at 17 kA. The variations in arc voltage were expressed in percentages, and corresponding Fuzzy linguistic variables were defined and subsequently fuzzified.

Note: If the arc current, voltage, and arc length fall within a specific interval, the following fuzzy linguistic terms are used in accordance with the values of Fuzzy variables:

For arc current:

15–19 kA → Very Low → (VL)

17–27 kA → Close to Normal → (CN)

$I > 37 \text{ kA} \rightarrow \text{Out of Range} \rightarrow (\text{OR})$

Table 1

Critical values affecting arc current and voltage

Category	Interval (kA)	Description	$I_{\max}$ (kA)	Category	Interval (%)	Description	$U_{\max}$ (V)
ThL	[15; 17; 20]	Very low	17	Boun	[-6; -4]	Very low	375
L	[21; 23; 25]	Low	23	Min	[-4; -2,5]	Low	384
M	[26; 27; 29]	Medium	27	Med	[-2,5; -1,5; 2,5]	Medium	390
H	[30; 33; 35]	High	33	Max	[2,5; 4; 6]	High	416
ThH	[36; 37; 38]	Very High	37	FM	[6; 8]	Very High	425

For arc voltage:

360–380 V $\rightarrow$ Very Low $\rightarrow$ (VL)

384–395 V $\rightarrow$ Close to Normal $\rightarrow$ (CN)

$U > 425 \text{ V} \rightarrow \text{Out of Range} \rightarrow (\text{OR})$

In the Fuzzy logic-based control system, during the fuzzification stage, arc current and voltage are considered highly variable parameters in the EAF process. The differences in these quantitative parameters are described using membership functions. Given that the variation patterns of input parameters are uncertain and exhibit a naturally exponential character, the use of Gaussian membership functions is considered highly effective for modeling such physical processes. Therefore, Gaussian membership functions were selected to represent arc current and voltage in this Fuzzy logic control framework. These functions are defined according to the following equation (1) within the Fuzzy logic methodology.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}}, & \text{if } x \in (x_0 - 6\sigma, (x_0 + 6\sigma)) \\ 1, & \text{if } x = x_0 \end{cases} \quad (1)$$

Using equation (1), Gaussian membership functions were constructed for all the critical arc current values specified in table 1. These functions were visualized using different colors corresponding to their respective influence levels (figure 2).

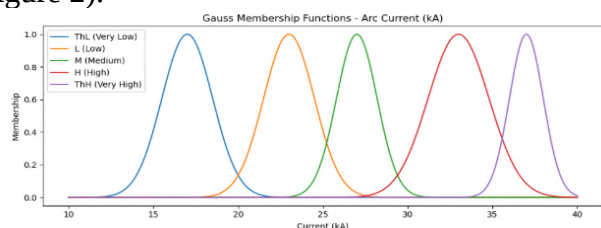


Figure 2. Fuzzy Gaussian membership functions for arc current influencing the electric steelmaking process.

To ensure universality in managing the steelmaking process in EAFs of various capacities, the critical values of arc voltage were expressed in percentage terms. Accordingly, appropriate membership functions were developed based on these values (see table 1 and figure 3).

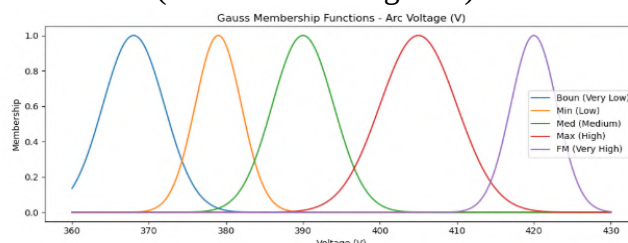


Figure 3. Fuzzy Gaussian membership functions for arc voltage influencing the electric steelmaking process.

After the fuzzification stage, the decision-making mechanism is activated. To determine the resulting output, it combines fuzzy membership functions derived from the knowledge base. As illustrated in figures 2 and 3, the Gaussian membership functions corresponding to arc current and voltage values are merged. In the Fuzzy decision-making mechanism, the Mamdani fuzzy system operates according to its own algorithmic rules, using if-then logic, which reflects the reasoning of an expert familiar with the steelmaking process.

Discussion. In the Mamdani system, the output values are obtained through the centroid defuzzification method. Based on the resulting Fuzzy membership degrees, the system defines optimal arc length boundaries appropriate for the complex nature of the steelmaking process. Following the development of Fuzzy linguistic variables for arc current and voltage, further research was conducted to determine the critical boundary values for arc length, presented in table 2.

Using the Mamdani algorithm, the system is able to automatically determine how many centimeters and in which direction the electrodes should move, based on variations in arc current and voltage. In figure 4, the arc length boundaries derived from the values in table 2—depending on critical arc current and voltage—are shown as a pulse-type membership function graph generated using the Mamdani system.

Table 2

Critical values for arc length variation levels

Category	Interval (sm)	Description	Arc length critical value l_{max} (sm)
ThLarc	[2; 5]	Very short (needs to be increased)	5
Larc	[6; 10]	Slightly short (still needs increase)	10
Marc	[12; 24]	Normal length	24
Harc	[26; 35]	Extended length	35
ThHarc	$[l \in [36 < l]]$	Very long (needs to be reduced)	45

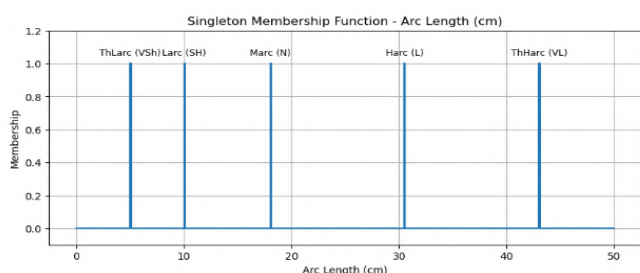


Figure 4. Pulse-type membership function for arc length based on the Fuzzy decision-making mechanism.

According to the data illustrated in figure 4:

When arc length is small, i.e., $2 \text{ cm} \leq l < 7 \text{ cm}$, and especially $l < 5 \text{ cm}$, the term “Very Short” (VS) is applied, and a signal is sent to rapidly raise the electrodes.

When arc length is in the medium or normal range, i.e., $12 \text{ cm} \leq l < 24 \text{ cm}$, the system uses the term “Close” (C) and sends a signal to maintain electrode position within this range.

When the arc length exceeds $l > 45 \text{ cm}$, the term “Out of Range” (OR) is used, and a signal is sent to rapidly lower the electrodes.

In this case, the electrodes continue to move downward until the arc length returns to the normal range, at which point a new signal slows down electrode movement to maintain stability. In this Fuzzy control system based on artificial intelligence, the optimal range for managing arc length—from the moment the solid charge begins to melt until the liquid metal state is reached—was

found to be approximately 17–20 minutes. Once the primary metal in the furnace bath has reached the liquid state, the electrodes remain immersed, and the melting process proceeds smoothly.

Conclusion. The study confirms the effectiveness of applying Fuzzy logic for controlling the complex and nonlinear technological process of electric arc steelmaking. By analyzing the behavior of key parameters such as arc current, voltage, and arc length within a EAF-30, it was demonstrated that traditional control systems face significant limitations in maintaining stable operation during rapid fluctuations—often resulting in electrode damage and process inefficiencies. To address these challenges, a Fuzzy logic-based control approach was developed using Gaussian membership functions and the Mamdani inference model. This control system accurately responds to variations in arc current and voltage by adjusting electrode movement to maintain the arc length within defined optimal boundaries. The research established critical threshold values for each parameter, and a comprehensive rule base was formulated to guide the decision-making mechanism of the Fuzzy system. Simulation results showed that, within the first 17–20 minutes of the melting process—where electric arc conditions are most dynamic—electrode movement can be efficiently managed to reduce energy consumption and electrode wear. Furthermore, the integration of Fuzzy logic enables adaptive, real-time control, making it a practical and intelligent solution for enhancing the stability, productivity, and energy efficiency of the steelmaking process. The proposed Fuzzy control strategy not only optimizes electrode regulation but also contributes to the digital transformation of metallurgical operations, offering a scalable model for implementation in electric arc furnaces of varying capacities.

REFERENCES

1. Paranchuk Y., Shabatura Y., Kuznyetsov O. The electrodes positioning control system for the electric arc furnace based on fuzzy logic. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, Kremenchuk, Ukraine, 21–24 September 2021, pp. 1–5.

2. Moghadasian M., Al-Nasser E. Modelling and control of electrode system for an electric arc furnace. In: 2nd International Conference on Research in Science, Engineering and Technology (ICRSET-2014), Dubai, UAE, March 21–22, 2014. Available at: <http://dx.doi.org/10.15242/IIE.E0314558>.
3. Rakhmonov I.U., Ushakov V.Ya., Najimova A.M., Obidov K.K., Suleymanov S.R. Mathematical modeling for minimizing electricity consumption in industrial enterprises with continuous production. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, 2024, vol. 335, no. 4, pp. 43–51. (In Russ.) DOI: 10.18799/24131830/2024/4/4423
4. Wang L.-X., Mendel J.M. Back-propagation fuzzy system as nonlinear dynamic system identifiers. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems, San Diego, CA, USA, 8–12 March 1992, pp. 1409–1418
5. Rakhmonov I.U., Ushakov V.Ya., Niyozov N.N., Kurbonov N.N. Forecasting electricity consumption by LSTM neural network. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, 2023, vol. 334, no. 12, pp. 125–133. (In Russ.) DOI: 10.18799/24131830/2023/12/4407 Maslov D.V. Study of mechanical processes during electrode impact with scrap. In: Science. Technologies. Innovations: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference of Young Scientists, in 10 parts, part 6. Novosibirsk: NSTU Publishing House, 2013, pp. 18–22. (In Russ.).
6. Napoles-Baez Y., Gonzalez-Yero G., Martínez R., Valeriano Y., Nuñez-Alvarez J.R., Llosas-Albuérne Y. Modeling and control of the hydraulic actuator in a ladle furnace. Heliyon, 2022, vol. 8, e11857. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11857>
7. Nikolaev A.A., Tulupov P.G., Astashova G.V. The comparative analysis of electrode control systems of electric arc furnaces and ladle furnaces. In: 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications, and Manufacturing. ICIEAM-2016, 2016, pp. 1–7.
8. Liu Y.-J., Chang G.W., Hong R.-C. Curve-fitting-based method for modeling voltage-current characteristic of an AC electric arc furnace. Electric Power Systems Research, 2010, vol. 80, no. 7, pp. 807–814.
9. Ghiormez L., Prostean O. Electric arc current control for an electric arc furnace based on fuzzy logic. In: Proceedings of the IEEE 10th Jubilee International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, Timisoara, Romania, 21–23 May 2015, pp. 359–364.
10. Maslov D.V. Determination of key parameters affecting the integrity of electrode columns in arc furnaces. Elektrotehnika, 2013, no. 8, pp. 43–47. (In Russ.)

UDC: 669.053.4

 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.8

TECHNOLOGY FOR EXTRACTING SILICON DIOXIDE FROM METALLURGICAL WASTE USING SODIUM HYDROXIDE



**Kholikulov Donyor
Bakhtiyorovich**

Doctor of Technical Sciences,
Professor, Deputy Director for
Research and Innovation, Almalyk
Branch of Tashkent State Technical
University, Tashkent, Uzbekistan
E-mail: Kholikulov.d@tdtuof.uz
ORCID ID: 0000-0001-6968-9297



**Khojiev Shokhrukh
Toshpulatovich**

Ph.D., Associate Professor,
Department of Metallurgy, Almalyk
Branch of Tashkent State Technical
University, Tashkent, Uzbekistan
E-mail: hojiyevshohruh@yandex.ru
ORCID ID: 0000-0001-8880-0878



**Shaymanov Ikrom
Ismatulla ugli**

PhD Candidate, Department of
Metallurgy, Almalyk Branch of
Tashkent State Technical
University, Tashkent, Uzbekistan
E-mail:
ikromshaymanov5@gmail.com
ORCID ID: 0009-0001-1065-4345



**Khudoymuratov
Shukhratjon
Jumaboyevich**

Assistant Lecturer, Department of
Metallurgy, Almalyk Branch of
Tashkent State Technical University,
Tashkent, Uzbekistan
E-mail:
shukhratkhudoymuratov@gmail.com
ORCID ID: 0009-0008-5360-3039

Abstract. This paper explores modern technological approaches to recycling dust waste generated during the production of ferrosilicon. The study focuses on metallurgical dusts with a high content of silicon dioxide (SiO_2) as the primary material. Their composition and physicochemical properties were analyzed, and a sodium hydroxide (NaOH)-based processing technology was proposed. In this method, silicon is extracted in the form of water-soluble sodium silicate, which is subsequently converted into amorphous silicon dioxide. Compared to sublimation-based technologies, the proposed method operates at lower temperatures, consumes less energy, and offers greater environmental safety. The potential use of the processed products in the construction materials industry (e.g., slag blocks, silicate bricks, plaster mixtures) is also discussed. The results confirm that the NaOH -based recycling technology is both economically viable and environmentally sustainable.

Keywords: ferrosilicon, metallurgical waste, silicon dioxide, recycling technology, sodium hydroxide, sodium silicate, environmental safety, construction materials.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ИЗ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОКСИДА НАТРИЯ

**Холикулов Донёр
Бахтиёрвич**

Доктор технических наук,
профессор, заместитель
директора по науке и инновациям
Алмалыкского филиала
Ташкентского государственного
технического университета,
Ташкент, Узбекистан

**Ходжиев Шохрух
Тошпулатович**

PhD, доцент кафедры
металлургии Алмалыкского
филиала Ташкентского
государственного технического
университета,
Ташкент, Узбекистан

**Шайманов Икром
Исмаиулла угли**

PhD кандидат кафедры
металлургии Алмалыкского
филиала Ташкентского
государственного технического
университета,
Ташкент, Узбекистан

**Худоймуратов
Шухратжон
Джумабоевич**

Ассистент преподавателя
кафедры металлургии
Алмалыкского филиала
Ташкентского государственного
технического университета,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В данной работе рассматриваются современные технологические подходы к переработке пылевых отходов, образующихся при производстве ферросилиция. В исследовании основное внимание уделено металлургическим пылям с высоким содержанием диоксида кремния (SiO_2) в качестве первичного материала. Проанализированы их состав и физико-химические свойства, а также предложена технология переработки на основе гидроксида натрия (NaOH). В этом методе кремний извлекается в виде водорастворимого силиката натрия, который затем преобразуется в аморфный диоксид кремния. По сравнению с технологиями, основанными на сублимации, предлагаемый метод работает при более низких температурах, потребляет меньше энергии и обеспечивает большую экологическую безопасность. Также обсуждается потенциальное использование переработанных продуктов в промышленности строительных материалов (например, шлакоблоки, силикатный кирпич, штукатурные смеси). Результаты подтверждают, что технология переработки на основе NaOH является как экономически выгодной, так и экологически устойчивой.

Ключевые слова: ферросилиций, отходы металлургического производства, диоксид кремния, технология переработки, гидроксид натрия, силикат натрия, экологическая безопасность, строительные материалы.

NATRIY GIDROKSIDI YORDAMIDA METALLURGIYA CHIQINDILARIDAN KREMNIY DIOKSIDINI AJRATIB OLISH TEKNOLOGIYASI

**Xoliqulov Donyor
Baxtiyorovich**

Texnika fanlari doktori, professor,
Toshkent davlat texnika universiteti
Olmaliq filiali direktorining fan va
innovatsiyalar bo'yicha o'rinbosari,
Toshkent, O'zbekiston

**Xojiev Shoxrux
Toshpo'latovich**

Toshkent davlat texnika universiteti
Olmaliq filiali "Metallurgiya"
kafedrası dotsenti, PhD,
Toshkent, O'zbekiston

**Shaymanov Ikrom
Ismatulla o'g'li**

Toshkent davlat texnika universiteti
Olmaliq filiali metallurgiya
kafedrası PhD nomzodi,
Toshkent, O'zbekiston

**Xudoymuratov
Shuxratjon
Jumaboyevich**

Toshkent davlat texnika universiteti
Olmaliq filiali "Metallurgiya"
kafedrası o'qituvchisi assistenti,
Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya. Ushbu ishda ferrosilisiy ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'ladigan chang chiqindilarini qayta ishlashning zamonaviy texnologik yondashuvlari ko'rib chiqiladi. Tadqiqotda asosan tarkibida kremniy dioksidi (SiO_2) yuqori bo'lgan metallurgik changlar birlamchi material sifatida o'rganildi. Ularning tarkibi va fizik-kimyoviy xossalari tahlil qilindi hamda natriy gidroksidi (NaOH) asosida qayta ishlash texnologiyasi taklif etildi. Ushbu usulda kremniy suvda eruvchan natriy silikat shaklida ajratib olinadi, so'ngra u amorf kremniy dioksidiga aylantiriladi. Sublinatsiyaga asoslangan texnologiyalar bilan solishtirganda, taklif etilayotgan usul pastroq haroratlarda ishlaydi, kamroq energiya sarflaydi va yuqoriroq ekologik xavfsizlikni ta'minlaydi. Shuningdek, qayta ishlangan mahsulotlardan qurilish materiallari sanoatida (masalan, shlakobloklar, silikat g'ishtlar, suvoq aralashmalari) foydalanish imkoniyatlari muhokama qilinadi. Natijalar shuni tasdiqlaydiki, NaOH asosidagi qayta ishlash texnologiyasi iqtisodiy jihatdan ham foydali, ham ekologik barqarordir.

Kalit so'zlar: ferrosilisiy, metallurgiya ishlab chiqarish chiqindilari, kremniy dioksidi, qayta ishlash texnologiyasi, natriy gidroksidi, natriy silikat, ekologik xavfsizlik, qurilish materiallari.

Introduction. Ferrosilicon is an alloy widely used in the production of steel and cast iron, composed primarily of silicon and iron. It serves as a key deoxidizing and alloying additive in the metallurgical industry. The production of ferrosilicon is carried out in electric furnaces at high

temperatures, where silicon dioxide (SiO_2) and iron-containing raw materials are processed under specific technological conditions [1].

This process generates a significant amount of dust and gaseous emissions. Ferrosilicon dust consists of silicon oxides, carbon, metal particles,

and other fine components, which, if released into the atmosphere, can have harmful environmental impacts [2]. Accumulation of this dust within production facilities poses health risks to workers and may damage technological equipment [3].

Efficient recycling of dust produced during ferrosilicon manufacturing is a pressing issue today. Techniques such as granulation, briquetting, or reuse as raw material in other industrial sectors help mitigate environmental issues while also providing economic benefits. Recycled dust can be utilized in the production of slag blocks, silicate bricks, and plaster mixtures, thereby contributing positively to the construction materials industry [4].

Therefore, implementing effective dust reduction and recycling technologies in ferrosilicon production is crucial from the standpoint of environmental protection and resource efficiency.

Electric arc furnaces (either open or closed types) are typically used in ferrosilicon production. These furnaces operate at temperatures between 1600°C and 1800°C and are designed to process SiO₂ and iron scrap, using graphite electrodes cooled by water to generate an arc [5].

The amount of dust generated depends on several factors:

1. Furnace power and capacity;
2. Grade of ferrosilicon being produced;
3. Quality and composition of raw materials;
4. Efficiency of the gas-cleaning system.

The concentration of dust in purified gas is typically less than 0.03 g/m³. If an electric furnace produces 10,000–50,000 tons of ferrosilicon per year, approximately 30–50 kg of dust is generated per ton of ferrosilicon, which corresponds to 300–2,500 tons of dust annually per furnace. This amount varies depending on process conditions and the efficiency of dust collection systems. A substantial portion of this dust contains valuable silicon dioxide and other recoverable components.

Ferrosilicon dust collected in gas-cleaning systems can be used in the remelting of silicon alloys in the form of briquettes or granules, as well as in other technical applications. Studies have shown that incorporating up to 10% of this dust into raw mixtures for slag blocks, silicate bricks, and plaster mixtures improves material strength and reduces cement consumption. Pre-granulating the dust into particles with diameters of 3–5 mm

facilitates easier transport. A granulator with 1 mm hole size is typically used, and the resulting granules achieve a density of 0.6–0.7 g/cm³, making them suitable as feedstock for alloy remelting [6].

Materials and Methods. In this study, ferrosilicon dust samples were analyzed to determine their physical and chemical properties, including granulometry, bulk density, and elemental composition. The average chemical composition of the selected dust samples was as follows (in wt%):

SiO₂: 79.6–86.9; SiC: 0.4–2.24; Total C: 3.3–5.4; Total Fe: 1.23–3.08; Al₂O₃: 0.25–0.84; CaO: 0.25–0.84; MgO: 0.4–1.05; Total S: 0.3–2.1.

The research was conducted in the following stages:

1. Sample Preparation: Representative dust samples were collected from a ferrosilicon production facility, dried, and sieved to isolate fractions smaller than 1 mm.

2. Chemical Analysis: The elemental composition was determined using an X-ray fluorescence spectrometer, focusing on major components such as SiO₂, Fe, Al₂O₃, CaO, MgO, C, and other oxides.

3. Recycling Experiments: The dust was treated hydrothermally using a sodium hydroxide (NaOH) solution. The reaction was carried out at 80–100°C for 1–3 hours, resulting in the formation of water-soluble sodium silicate (Na₂SiO₃).

4. Product Separation: Amorphous silicon dioxide was recovered from the sodium silicate solution via acid precipitation. The resulting precipitate was filtered, dried, and analyzed.

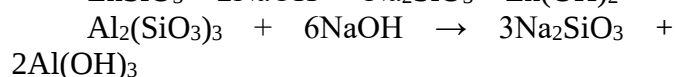
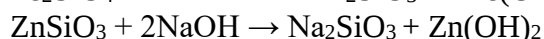
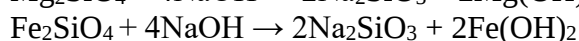
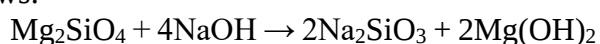
5. Evaluation: The products were assessed both quantitatively and qualitatively. The efficiency of the process, energy consumption, and environmental safety were evaluated to determine the feasibility of large-scale industrial application.

This methodological approach aims to assess the potential of recycling silicon-rich waste on an industrial scale, with a focus on economic viability and environmental safety.

Results and Discussion. During the study, samples of dust generated from the ferrosilicon production process were subjected to physicochemical analysis. According to the results, silicon dioxide (SiO₂) was identified as the main component, with its concentration ranging from 79.6% to 86.9%. In addition, the presence of carbon,

iron, aluminum, calcium, and magnesium oxides, along with other minor impurities, was confirmed. These findings indicate that such waste materials represent a promising source for obtaining silicon-rich products through appropriate recycling techniques.

In the recycling stage, the dust was treated hydrothermally using a sodium hydroxide (NaOH) solution. As a result, silicon-containing compounds in the dust reacted with NaOH to form water-soluble sodium silicate (Na_2SiO_3). The chemical reactions involved in this process can be represented as follows:



This confirms that a significant portion of the silicon content is converted into a soluble form, which is a prerequisite for further separation and purification of silicon dioxide.

Following the alkaline treatment, the resulting sodium silicate solution was subjected to acid precipitation to isolate amorphous silicon dioxide. This step involved the addition of a mineral acid (e.g., HCl or H_2SO_4), which led to the formation of a white precipitate of SiO_2 . The precipitate was filtered, washed, and dried for further analysis.

The yield and purity of the obtained silicon dioxide were evaluated, showing that the process effectively extracts SiO_2 with minimal contamination. The method also demonstrates significant energy savings and environmental advantages compared to conventional high-temperature sublimation methods.

Amorphous silicon dioxide was extracted from the resulting sodium silicate solution via acid precipitation. The SiO_2 sample obtained was white in color, lightweight, and exhibited high dispersity. These characteristics suggest its potential application in the construction materials industry.

According to experimental data:

The efficiency of dust processing using NaOH was approximately 85–90%;

The purity of the precipitated amorphous SiO_2 exceeded 95%, indicating its suitability for industrial-scale use (Figure 1).

These results confirm that the developed

method allows for efficient recovery of high-purity silicon dioxide from ferrosilicon dust waste, with minimal energy input and without the need for high-temperature treatments. The final product may be integrated into production processes for silicate bricks, plaster mixtures, or as a reinforcing additive in cement-based composites.

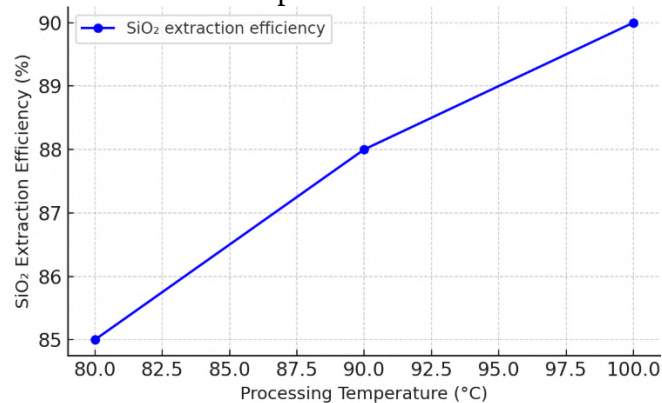


Fig.1. Effect of Temperature on SiO_2 Extraction Efficiency.

This graph shows that increasing the processing temperature from 80°C to 100°C improves the efficiency of silicon dioxide extraction from ferrosilicon dust using sodium hydroxide.

The process also demonstrated a 20–25% reduction in energy consumption compared to conventional sublimation-based technologies (Figure 2). Due to the relatively low operating temperature (80–100°C), the proposed method is not only energy-efficient but also technologically simple and operationally safe. This makes it attractive for potential industrial application where low thermal load and environmental safety are critical requirements.

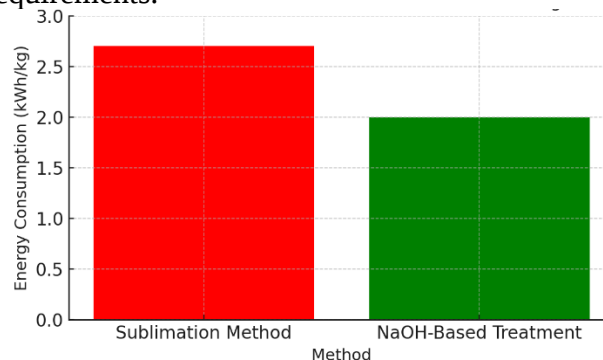


Fig.2. Comparison of Energy Consumption between Sublimation and NaOH-Based Processing.

This chart illustrates that NaOH-based treatment requires approximately 25% less energy (2.0 kWh/kg) than the traditional sublimation method (2.7 kWh/kg), highlighting its energy efficiency.

Conclusion. The results of this study demonstrate that the sodium hydroxide-based technology for processing silicon dioxide-containing metallurgical waste is both economically efficient and environmentally sustainable. The amorphous SiO₂ obtained via acid precipitation from the sodium silicate solution showed high purity (above 95%) and favorable physical properties such as whiteness, low density, and high dispersibility—making it suitable for applications in the construction materials industry.

Furthermore, incorporating granules and briquettes derived from ferrosilicon dust into building materials not only enhances their strength but also reduces cement consumption. This promotes the valorization of metallurgical waste as a secondary resource.

One limitation of the method is the corrosive nature of sodium hydroxide and the need for proper disposal of by-products. However, taking into account its overall energy efficiency, environmental safety, and high product yield, the proposed method can be considered a promising alternative to traditional high-temperature sublimation technologies.

In particular, the hydrothermal treatment with NaOH at relatively low temperatures (80–100°C) leads to the formation of water-soluble sodium silicate, from which amorphous SiO₂ can be efficiently extracted. This low-temperature process not only consumes 20–25% less energy compared to sublimation but also reduces harmful emissions and operational complexity.

While sublimation remains effective for producing ultra-pure silicon, it demands significantly more energy and involves more complex infrastructure. In contrast, the NaOH-based method offers a balance of simplicity, environmental compliance, and industrial applicability.

Nevertheless, the corrosive environment generated during the process may cause degradation of equipment, increasing installation and maintenance costs. Additionally, the recycling or neutralization of large volumes of NaOH and secondary products remains a technological challenge.

Despite these drawbacks, the NaOH-based recovery technology stands out as a viable and scalable approach to transforming silicon-rich metallurgical waste into valuable industrial products. Future work should focus on scaling up this process for industrial implementation and evaluating long-term operational and economic performance.

REFERENCES

1. Uhlmann, D. R., Kreidl, N. J. Sublimation of silicon compounds in silica extraction processes // Journal of Non-Crystalline Solids. - 1980. - T. 42, № 2. - C. 131-146.
2. Byrappa, K., Yoshimura, M. Handbook of Hydrothermal Technology: A Technology for Crystal Growth and Materials Processing. - New York: William Andrew Publishing, 2001. - 772 c.
3. Hassan, M., et al. Chemical processes for silicon extraction from metallurgical waste // Journal of Environmental Chemistry and Engineering. - 2018. - T. 6, № 1. - C. 102-112.
4. Lee, S., et al. Environmental impact and efficiency of silicon extraction methods // Journal of Sustainable Metallurgy. - 2020. - T. 3, № 1. - C. 89-95.
5. Gupta, P., et al. Sublimation and its applications in metal extraction // Minerals Engineering. - 2014. - T. 62. - C. 13-21.
6. Khojiev Sh.T., Kadirov N.A., Kholikulov D.B., Shaymanov I.I. Technological feasibility of producing basalt fiber from electric arc furnace slag and ferrosilicon dust // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – 2025. – № 4(133). – Ч. 8. – С. 5–8.

UO‘K: 669.24/.29

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.9

TEXNOGEN ERITMALARDAN NOYOB METALLARNI AJRATIB OLISH IMKONIYATLARINI TADQIQ ETISH



**Hojiyev Shohruh
Toshpo'latovich**

Toshkent davlat texnika universiteti
Olmaliq filiali "Metallurgiya"
kafedrası PhD., dotsent,
Olmaliq, O'zbekiston
E-mail: hojiyevshohruh@yandex.ru
ORCID ID: 0000-0001-8880-0878



**Karshiboyev Sherzod
Begmaxamat o'g'li**

Toshkent davlat texnika universiteti
Olmaliq filiali "Metallurgiya"
kafedrası mudiri. PhD., dotsent,
Olmaliq, O'zbekiston
E-mail: karshiboev.sherzod@gmail.com
ORCID ID: 0009-0004-8097-0804



**Xudoymuratov
Shuxratjon
Jumaboyevich**

Toshkent davlat texnika universiteti
Olmaliq filiali "Metallurgiya"
kafedrası assistenti,
Olmaliq, O'zbekiston
E-mail: shukhratkudoymuratov@gmail.com
ORCID ID: 0009-0008-5360-3039



**Mutalibxonov
Saidalimxonovich**

Toshkent davlat texnika universiteti
Olmaliq filiali "Metallurgiya"
kafedrası assistenti,
Olmaliq, O'zbekiston
E-mail: mutalibkhonov1990@gmail.com
ORCID ID: 0009-0003-1300-3411

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda "Olmaliq KMK" AJ Mis eritish zavodida texnologik gazlarni yuvish natijasida hosil bo'lgan texnogen eritmalardan disprosiy (Dy), molibden (Mo) va tellur (Te) kabi noyob metallarni selektiv ajratib olish imkoniyatlari termodinamik asosda baholandi. Har bir metall uchun potensial–pH (E–pH) diagrammalari FactSage dasturi yordamida shakllantirildi va barqaror fazalar aniqlandi. Tahlillar Dy ni ishqoriy muhitda ($pH > 7,5$) Dy_2O_3 shaklida, Te ni oksidlovchi neytral sharoitda ($pH = 5-8$, $E = 0,5-0,7$ V) TeO_2 ko'rinishida va Mo ni $pH = 5-9$ oralig'ida ($E = 0,0-0,5$ V) MoO_2 sifatida ajratish mumkinligini ko'rsatdi. Har bir element uchun cho'kma faza xususiyatlari va raqobatdosh ionlarning ta'siri o'rganilib, selektiv ajratish uchun optimal sharoitlar belgilandi. Xususan, niqoblovchi reagentlar (EDTA, sitrat) yordamida Dy ning selektivligi oshirilishi, oksidlovchi kuchni boshqarish orqali Te ni birinchi bosqichda ajratish, hamda fazaviy farqlardan foydalanib Mo ni boshqa metallar fonida cho'ktirish mumkinligi asoslab berildi. Tadqiqot natijalari texnogen eritmalardan iqtisodiy jihatdan ahamiyatli komponentlarni samarali ajratib olish va chiqindisiz texnologiyalarni ishlab chiqish yo'nalishida muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit so'zlar: texnogen eritmalar, noyob metallar, selektiv cho'ktirish, potensial–pH diagrammasi, termodinamik tahlil, FactSage dasturi, ikkilamchi resurslardan foydalanish.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ РАСТВОРОВ

**Ходжиев Шохрух
Тошпулатович**

Кандидат технических наук,
доцент кафедры металлургии
Алмалыкского филиала
Ташкентского государственного
технического университета,
Алмалык, Узбекистан

**Каршибоев Шерзод
Бегмахамад угли**

Заведующий кафедрой
металлургии Алмалыкского
филиала Ташкентского
государственного технического
университета, кандидат
технических наук, доцент,
Алмалык, Узбекистан

**Худоймуратов
Шухратжон
Джумабоевич**

Доцент кафедры металлургии
Алмалыкского филиала
Ташкентского государственного
технического университета,
Алмалык, Узбекистан

**Муталибханов
Саидалохон
Саидолимханович**

Доцент кафедры металлургии
Алмалыкского филиала
Ташкентского государственного
технического университета,
Алмалык, Узбекистан

Аннотация. В данной работе на термодинамической основе оценена возможность селективного разделения редких металлов, таких как диспрозий (Dy), молибден (Mo) и теллур (Te), из техногенных растворов, образующихся в результате промывки технологических газов на медеплавильном заводе АО «Алмалыкский ГМК». С помощью программы FactSage построены диаграммы потенциал–pH (E –pH) для каждого металла и выявлены устойчивые фазы. Анализы показали, что Dy может быть разделен в щелочной среде ($pH > 7,5$) в виде Dy_2O_3 , Te в окислительно-нейтральной среде ($pH = 5–8$, $E = 0,5–0,7$ В) в виде TeO_2 , а Mo в диапазоне $pH = 5–9$ ($E = 0,0–0,5$ В) в виде MoO_2 . Для каждого элемента изучены свойства осаждаемой фазы и влияние конкурирующих ионов, определены оптимальные условия селективного разделения. В частности, показано, что селективность Dy можно повысить, используя маскирующие реагенты (ЭДТА, цитрат), Te можно отделить на первой стадии, контролируя окислительную способность, а Mo можно осадить на фоне других металлов, используя фазовые различия. Результаты исследований имеют большое значение в направлении эффективного выделения экономически важных компонентов из техногенных растворов и разработки безотходных технологий.

Ключевые слова: техногенные растворы, редкие металлы, селективное осаждение, диаграмма потенциал–pH, термодинамический анализ, программа FactSage, использование вторичных ресурсов.

RESEARCH ON THE POSSIBILITIES OF EXTRACTING RARE METALS FROM TECHNOGENIC SOLUTIONS

**Khojiev Shokhrukh
Toshpulatovich**

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the
Department of Metallurgy of the
Almalyk branch of the Tashkent
State Technical University,
Almalyk, Uzbekistan

**Karshiboyev Sherzod
Begmaxamat ugli**

Head of the Department of
Metallurgy of the Almalyk branch of
the Tashkent State Technical
University, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor,
Almalyk, Uzbekistan

**Khudoymuratov
Shukhratjon
Jumaboevich**

Associate Professor, Department of
Metallurgy, Almalyk Branch of
Tashkent State Technical
University, Almalyk, Uzbekistan

**Mutalibkhonov
Saidalokhon
Saidolimkhonovich**

Associate Professor, Department of
Metallurgy, Almalyk Branch of
Tashkent State Technical
University, Almalyk, Uzbekistan

Abstract. In this study, the possibility of selective separation of rare metals such as dysprosium (Dy), molybdenum (Mo) and tellurium (Te) from technogenic solutions formed as a result of washing process gases at the copper smelter of the Almalyk MMC JSC was evaluated on a thermodynamic basis. Potential–pH (E –pH) diagrams for each metal were generated using the FactSage program, and stable phases were identified. The analyses showed that Dy could be separated in an alkaline medium ($pH > 7.5$) as Dy_2O_3 , Te in an oxidizing neutral environment ($pH = 5–8$, $E = 0.5–0.7$ V) as TeO_2 , and Mo in the pH range 5–9 ($E = 0.0–0.5$ V) as MoO_2 . The properties of the precipitated phase and the effect of competing ions were studied for each element, and the optimal conditions for selective separation were determined. In particular, it was demonstrated that the selectivity of Dy can be increased by using masking reagents (EDTA, citrate), Te can be separated in the first stage by controlling the oxidizing power, and Mo can be precipitated against the background of other metals using phase differences. The results of the research are of great importance in the direction of efficient separation of economically important components from technogenic solutions and the development of waste-free technologies.

Keywords: technogenic solutions, rare metals, selective precipitation, potential-pH diagram, thermodynamic analysis, FactSage program, use of secondary resources.

Kirish. Zamonaviy metallurgik sanoatda ishlab chiqarish jarayonlari natijasida katta miqdorda texnologik eritmalar, ya'ni metallarga boy suyuq chiqindilar hosil bo'ladi. Ushbu eritmalar

tarkibida ba'zida juda past konsentratsiyalarda bo'lsa-da, iqtisodiy va strategik ahamiyatga ega bo'lgan noyob va qimmatbaho metallar (NQM) – platina guruhi metallar (PGM), oltin, kumush, reniy,

germaniy, indiy, iridiy va boshqalar mavjud bo'ladi [1]. Ularni qayta ishlash va ajratib olish nafaqat iqtisodiy jihatdan foydali, balki ekologik barqarorlikni ta'minlash nuqtayi nazaridan ham muhim ahamiyat kasb etadi [2].

So'nggi yillarda ilm-fan va texnologiyalarning rivojlanishi natijasida texnologik eritmalardan NQMni ajratib olishning yangi va samarali usullari ishlab chiqildi. Jumladan, gidrometallurgik jarayonlar, ion almashinish, suyuqlik–suyuqlik ekstraksiyasi, ionli suyuqliklar yordamida ajratish, shuningdek, elektrokimyoviy cho'ktirish kabi usullar amaliyotda keng qo'llanilmoqda [3].

Masalan, Zhuang va hammualliflar (2022) tomonidan taklif etilgan gibrid gidrometallurgik yondashuv misolida eritmalardan platina guruhidagi metallarni deyarli to'liq ajratib olishga erishilgan [4]. Bai va boshqalar (2022) esa qutbli aprotik erituvchilar yordamida selektiv ekstraksiya mexanizmini asoslab bergan [5]. Shuningdek, ionli suyuqliklar asosidagi ekstraksiya (Lee va boshq., 2022) ekologik xavfsiz va yuqori tanlab olish qobiliyatiga ega bo'lib, an'anaviy organik erituvchilarga samarali alternativ hisoblanadi [6-8].

Ushbu ilmiy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, texnologik eritmalarni chuqur tahlil qilish va ulardan qiymatli komponentlarni ajratib olish uchun murakkab va ko'p bosqichli texnologik yondashuv zarur. Bunda eritma tarkibi, pH, oksidlovchi muhit, kompleks hosil bo'luvchi reagentlar va cho'ktirish sharoitlari muhim rol o'ynaydi [9].

Mazkur ishda metallurgik zavodlardan ajralib chiqadigan texnologik eritmalarni tahlil qilish, ulardan qimmatbaho metallarni ajratib olish uchun optimal texnologik sxemani ishlab chiqish, apparat zanjiri tanlash va ekologik-texnik asoslarini bayon qilish ko'zda tutilgan.

Mis ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'ladigan texnologik gazlar, odatda, yuqori miqdorda oltingugurtli komponentlar – asosan SO₂ (oltingugurt (IV)-oksidi) va SO₃ (oltingugurt (VI)-oksidi) ni o'z ichiga oladi. Atrof-muhitga zarar yetkazmaslik va ushbu gazlarning iqtisodiy jihatdan samarali qayta ishlanishini ta'minlash maqsadida ular sulfat kislotasi (H₂SO₄) ishlab chiqarish yo'li bilan utilizatsiya qilinadi. Bu jarayonning muhim bosqichlaridan biri – gazlarni dastlabki bosqichda suv yordamida yuvish bo'lib, uning natijasida

chaglarni hamda SO₂ va SO₃ ni o'z ichiga olgan texnologik eritma hosil bo'ladi [10].

Mazkur texnogen eritmalar, bir qarashda, asosan kislotalilik manbai sifatida ko'rilsa-da, ularning tarkibida turli darajadagi og'ir metallar, nodir elementlar va hatto qimmatbaho metallar mavjud bo'lishi mumkin. Bunday elementlar, jumladan, Ag (kumush), Sb (surma), Te (tellur), Dy (disprosiy), va boshqa metallar, mis boyitmalarining pirometallurgik qayta ishlanishi, eritilishi va tozalash jarayonlari davomida gazsimon fazaga o'tib, keyinchalik suv orqali kondensatsiyalanadi. Shu bois, bunday eritmalarni oddiy chiqindi sifatida ko'rish o'rninga, ulardan iqtisodiy jihatdan qiymatli komponentlarni ajratib olish imkoniyatlarini o'rganish dolzarb hisoblanadi [11].

Texnologik gazlarni yuvishdan hosil bo'lgan texnogen eritmalardan qimmatbaho va nodir metallarni ajratib olish nafaqat ikkilamchi resurslardan foydalanish samaradorligini oshiradi, balki ekologik xavfsizlikni ta'minlashga, korxonaning chiqindisiz ishlab chiqarishga o'tishiga ham xizmat qiladi. Ushbu tadqiqot shunday eritmalar tarkibini o'rganish, ulardan iqtisodiy jihatdan ahamiyatli komponentlarni ajratib olish texnologiyalarini ishlab chiqish va baholashga qaratilgan [12].

Tadqiqot obyektlari. Tadqiqotning asosiy obyekti sifatida "Olmaliq KMK" AJ ning Mis eritish zavodida eritish pechlaridan chiqadigan texnologik gazlarni yuvishdan hosil bo'lgan texnogen eritmalar tanlandi. Shunday eritma namunalaridan birining kimyoviy tarkibi 1-jadvalda taqdim etilgan.

1-jadval.

Texnogen eritmaning kimyoviy tarkibi (mg/l)

№	Element	Konsentratsiyasi, mg/l
2	Sn	205,32
3	S	142,49
4	Cl	119,47
5	Dy	112,39
6	Te	92,04
7	Ni	70,80
8	Pb	21,77
9	Fe	18,67
10	Cu	17,88
11	Zn	17,79
12	Br	16,99
13	Sb	16,55
14	Ag	12,04
17	As	4,27
18	Mo	2,58

1-jadval natijalariga ko'ra, eng yuqori konsentratsiyaga ega elementlar bu: qalay (Sn – 205,32 mg/l), oltingugurt (S – 142,49 mg/l), xlor (Cl – 119,48 mg/l), disprosiy (Dy – 112,40 mg/l) va tellur (Te – 92,04 mg/l).

Og'ir metallar (masalan: qo'rg'oshin – Pb, temir – Fe, mis – Cu, rux – Zn) miqdori nisbatan past (20 mg/l atrofida yoki undan kam), bu esa eritmaning deyarli shaffofligiga mos keladi.

Noyob yer metallaridan biri bo'lgan disprosiy (Dy) 112,40 mg/l bilan sezilarli darajada yuqori bo'lib, bu eritmaning texnologik gazlar bilan bog'liqligini ko'rsatadi.

As, Sb, Ag, Mo kabi mikrokomponentlar ham mavjud bo'lib, ularning kontsentratsiyasi 2–16 mg/l oralig'ida [1-4].

Tadqiqot metodologiyasi. Eritmalarning kimyoviy tarkibini chuqur o'rganish uchun zamonaviy analitik usullar – atom-absorbsiya spektroskopiyasi (AAS), induktiv ulanishli plazmali massa-spektrometriya (ICP-MS), ion xromatografiyasi va boshqa laboratoriya metodlari qo'llanildi. Aniqlangan elementlarni ajratib olishda kimyoviy cho'ktirish, ekstraksiya, ion almashinish va membranali ajratish texnologiyalarining samadorligi baholandi. Natijalar, ushbu texnogen eritmalar oddiy chiqindi sifatida emas, balki iqtisodiy qiymatga ega ikkilamchi resurs sifatida ko'rib chiqish zarurligini isbotladi.

Shu tariqa, texnologik gazlarni utilizatsiya qilish jarayonida hosil bo'ladigan eritmalar nodir va qimmatbaho metallarni ajratib olish, bir tomondan, chiqindisiz ishlab chiqarishga xizmat qilsa, ikkinchi tomondan, korxonaning ekologik xavfsizligini oshirib, resurslardan kompleks foydalanishni ta'minlash imkonini beradi.

Texnologik gazlarni yuvishdan hosil bo'lgan eritmalar tarkibida turli ionlar, jumladan, qimmatbaho (Ag), yarimmetallar (Sb, Te) va nodir metallar (Dy) mavjud bo'lib, ularning har biri ma'lum sharoitda (pH va elektrokimyoviy potensial) barqaror fazaga o'tadi yoki cho'kma hosil qiladi. Shuning uchun ushbu komponentlarni samarali ajratib olishda potensial-pH (E-pH) diagrammalarini tuzish muhim amaliy va nazariy ahamiyatga ega [1].

E-pH diagrammalari (Purbe diagrammalari) ma'lum elementning suvli muhitdagi termodinamik barqarorlik holatini aks ettiradi. Bunday diag-

rammalar asosida eritmadagi ionlarning qaysi sharoitda erigan ion, qattiq cho'kma (oksid, gidroksid, sulfid va boshqalar) yoki elementar holatda mavjud bo'lishi aniqlanadi. Bu esa metallarni selektiv ajratish va cho'ktirish jarayonlarini nazorat qilishga imkon beradi.

Texnologik eritmalarda bir nechta element ionlari bir vaqtda mavjudligi sababli, ularning o'zaro kimyoviy ta'sirini hisobga olgan holda optimal pH va elektrod potensial qiymatlarini aniqlash kerak bo'ladi. Ayniqsa, Ag^+ , Sb^{3+} , Te^{4+} kabi ionlar noorganik kislotalar yoki oksidlovchi muhit ta'sirida turli oksidlanish darajalarini hosil qilishi mumkin. Shu nuqtayi nazardan, ushbu metallar uchun E-pH diagrammalari asosida cho'kma hosil bo'lish chegaralari aniq belgilab olinadi.

Shuningdek, bu diagrammalar ajratish jarayonining ekologik va texnologik xavfsizligini ta'minlashda ham muhim rol o'ynaydi. Chunki, noto'g'ri pH yoki potensial sharoitda xavfli birikmalar (masalan, uchuvchi gidridlar, eriydigan komplekslar) hosil bo'lishi mumkin. E-pH diagrammalar bu kabi noxush holatlarning oldini olishga xizmat qiladi.

Shunday qilib, texnogen eritmalar tarkibidagi qimmatbaho va nodir metallarni samarali va selektiv cho'ktirish, ularni qayta ishlash texnologiyasini ilmiy asosda rejalashtirish uchun potensial-pH diagrammalarini tuzish zarur va dolzarb hisoblanadi.

Ushbu tadqiqotda Dy, Mo va Te metallari uchun potensial-pH (E-pH) diagrammalarini shakllantirishda FactSage 8.2 dasturiy kompleksidan foydalanildi. FactSage – termodinamik ma'lumotlar bazasi va faza diagrammalarini avtomatik hisoblash imkoniyatiga ega zamonaviy dasturiy platforma bo'lib, u metallurgiya, kimyo va materialshunoslik sohalarida keng qo'llaniladi.

Olingan natijalar va ularning muhokamasi. Texnologik eritmalar nodir metallarni selektiv ajratish texnologiyalarini ishlab chiqishda ularning suvli muhitdagi termodinamik barqarorlik xususiyatlarini chuqur o'rganish zarur. Ayniqsa, disprosiy (Dy), molibden (Mo) va tellur (Te) kabi metallar eritma sharoitida turli oksidlanish darajalarida, ion yoki cho'kma fazalarida mavjud bo'lishi mumkin. Ularning qaysi sharoitda (ya'ni ma'lum pH va elektrod potensial (E) qiymatlarida) barqaror fazaga o'tishini oldindan aniqlash selektiv

cho'ktirish jarayonini ilmiy asoslash imkonini beradi.

Diagrammalarni qurishda quyidagi parametrlar hisobga olindi:

1. Tizim: Metall – H₂O (298,15 K haroratda, ya'ni 25°C);

2. Faollik: 1 mol/kg (standart konsentratsiyada);

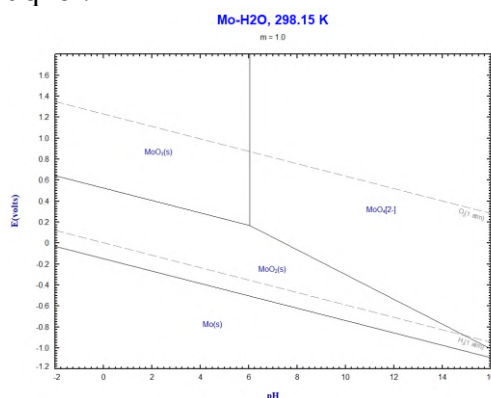
3. Yopiq muhit: 1 atm bosimda, kislorod va vodorod bosimlari standart holatda.

Eritmadagi noyob metallarning potensial-pH diagrammalarini qurishdan maqsad suvli eritmada har bir metalning ion, oksid, gidroksid va metall shakllari mavjudlik chegaralarini aniqlashdir.

Diagrammalarda har bir metall uchun barqaror fazalar (masalan, Dy³⁺ / Dy₂O₃(q), MoO₄²⁻ / MoO₂(q), Te(OH)₆²⁻ / TeO₂(q) / Te(q) va boshqalar) aniqlanib, ularning pH va potensialga bog'liqligi grafik tarzda ifodalandi. Bu esa, eritma tarkibida mavjud bo'lgan boshqa metallar ishtirokida har bir komponentni selektiv ajratish imkonini taqdim etdi [3-8].

FactSage dasturidan foydalanish, metallarning murakkab redoks tizimlaridagi xatti-harakatlarini termodinamik nuqtai nazardan model qilishga imkon berdi. Ayniqsa, selektiv cho'ktirish sharoitlarini aniqlashda yuqori aniqlikdagi potensial-pH chegaralari va barqarorlik zonalarini aniqlanishi, texnologik jarayonni optimallashtirishda muhim omil bo'ldi.

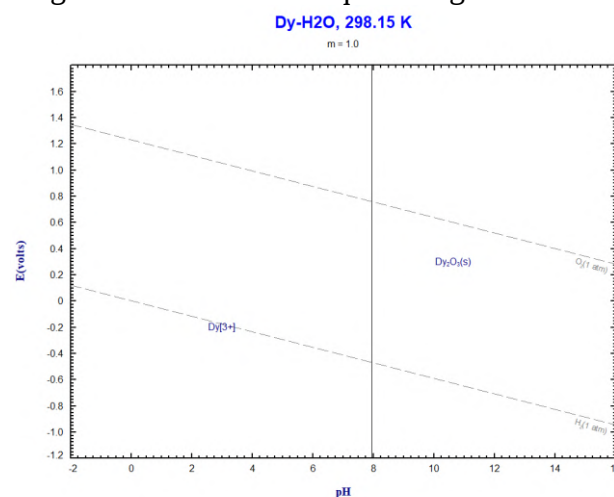
Shunday qilib, mazkur tadqiqotda Dy, Mo va Te elementlari uchun tuzilgan E–pH diagrammalari (1, 2, 3-rasmlar) texnogen eritmalaridan ushbu noyob metallarni ilmiy asoslangan selektiv ajratish strategiyasini ishlab chiqishda muhim vosita sifatida xizmat qildi.



1-rasm. Mo-H₂O sistemasi uchun Purbe diagrammasi.

Molibden (Mo) texnogen eritmalarida turli oksidlanish darajasida mavjud bo'lib, uni cho'ktirish jarayonida asosan qattiq oksid shakllar (MoO₃, MoO₂) yoki metall holatdagi Mo ajralib chiqishi mumkin. 1-rasmda tasvirlangan diagrammada termodinamik jihatdan barqaror fazalarni inobatga olgan holda, MoO₃(q) cho'kmasi ~0–5 pH va 0,5–1,2 V elektrod potensial sharoitida, MoO₂(q) esa 5–9 pH va 0,0–0,5 V oralig'ida hosil bo'ladi. Mo ni metall holatda ajratish esa faqat kuchli qaytaruvchan muhitda, ya'ni pH>9 va E<–0,2 V sharoitida amalga oshiriladi. Amaliy jihatdan samarali va barqaror ajratish usuli sifatida, molibdenni neytral muhitda (pH=5–9) va taxminan 0 V atrofida potensialda MoO₂(q) shaklida cho'ktirish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

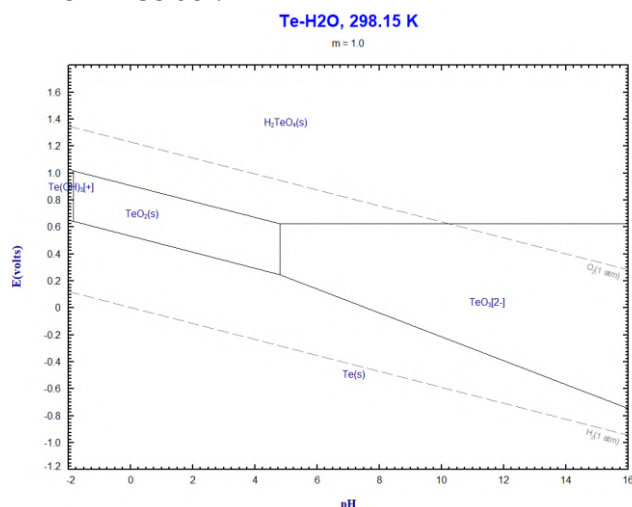
Eritma tarkibidagi molibden uchun Purbe diagrammasi 1-rasmda taqdim etilgan.



2-rasm. Dy-H₂O sistemasi uchun Purbe diagrammasi.

Disprosiy (Dy) texnogen eritmalarida Dy³⁺ ionlari shaklida mavjud bo'lib, u ishqoriy muhitda osonlik bilan Dy₂O₃(q) shaklida cho'kma hosil qiladi. Termodinamik tahlil natijalariga ko'ra, Dy cho'kmasi barqaror ravishda pH > 7,5 sharoitda hosil bo'ladi, elektrod potensial esa bu jarayonga deyarli ta'sir ko'rsatmaydi (2-rasm). Shuning uchun Dy ni eritmada ajratib olish uchun pH darajasini 8–10 oralig'iga ko'tarish, masalan, NaOH yoki NH₄OH qo'shish orqali ishqoriy muhit hosil qilish zarur. Bu sharoitda Dy selektiv tarzda Dy₂O₃(q) shaklida ajralib chiqadi va boshqa metallar (masalan, Mo va Te) hali cho'kma holatiga o'tmagan bo'ladi.

Tellur (Te) texnogen eritmalarda asosan oksidlangan holatda, ya'ni Te^{4+} yoki Te(VI) ionlari sifatida mavjud bo'lib, ularni selektiv ajratish uchun pH 5–8 va 0,5–0,7 V oralig'idagi elektrokimyoviy sharoit optimal hisoblanadi (3-rasm). Ushbu sharoitda $\text{TeO}_2(\text{q})$ barqaror fazada hosil bo'ladi. Ayniqsa, eritma muhitiga yengil oksidlovchilar (masalan, H_2O_2) kiritish orqali potensialni kerakli darajada ushlab turish mumkin. TeO_2 cho'kmasi neytralga yaqin pH sharoitida hosil bo'lishi, uni Dy va Mo kabi boshqa metallar bilan ketma-ket ajratish imkonini beradi.



3-rasm. $\text{Te-H}_2\text{O}$ sistemasini uchun Purbe diagrammasi.

Shunday qilib, Dy, Te va Mo ni eritmadan ketma-ket ajratib olish uchun eritma muhitining pH va potensial darajalarini bosqichma-bosqich boshqarish, har bir element uchun optimal sharoitda cho'ktirish jarayonlarini amalga oshirish orqali selektiv ajratish strategiyasini shakllantirish zarur.

Noyob metallarni eritmadan selektiv ajratish imkoniyatini tahliliy baholash. Disprosiy (Dy) ni texnogen eritmalardan selektiv ajratish imkoniyatini baholash shuni ko'rsatadiki, Dy^{3+} ionlari suvli eritmada barqaror Dy_2O_3 cho'kmasi shaklida faqat pH > 7,5 sharoitida ajraladi. Biroq, ishqoriy muhitda boshqa ionlar – jumladan, Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} va Fe^{3+} kabi og'ir metallar ham o'zlariga xos gidroksid cho'kmalarini hosil qilishi mumkin. Bu esa Dy ni boshqa metallar fonida selektiv ajratish jarayonini murakkablashtiradi.

Tahliliy yondashuvga ko'ra, pH=8–9 oralig'ida Dy bilan bir vaqtda yuqoridagi og'ir metallar ham qisman cho'kishi ehtimoli mavjud.

Shu sababli selektivlikni ta'minlash uchun oldindan ekstraksiya qilish yoki eritmaga niqoblovchi reagentlar (masalan, EDTA, sitrat kislotasi) qo'shish tavsiya etiladi. Bu reagentlar og'ir metallar bilan kompleks hosil qilib, ularni eritmada bog'langan holatda ushlab turadi. Natijada Dy^{3+} ionlari tanlab ajralib chiqishi va Dy_2O_3 shaklida cho'kishi uchun zarur sharoitlar hosil qilinadi. Shunday yondashuv Dy ni boshqa ionlardan selektiv ajratib olish imkonini sezilarli darajada oshiradi.

Tellurni (Te) texnogen eritmadan selektiv ajratib olish jarayonida u suvli muhitda asosan pH 5–8 va 0,5–0,7 V elektrokimyoviy potensial oralig'ida TeO_2 shaklida cho'kadi. Biroq, ushbu oksidlovchi sharoitlarda Sn(IV), Sb(III), Fe(III) va Ag(I) kabi boshqa ionlar ham cho'kma hosil qilishi mumkin bo'lgan fazalarda mavjud bo'ladi. Bu esa Te ning selektiv ajratilishiga raqobatdosh ta'sir ko'rsatadi.

Bunday holatda oksidlanish-qaytarilish potensiallari farqi asosida bosqichli ajratish strategiyasini qo'llash mumkin. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, TeO_2 ning barqaror fazasi Ag va Sb oksidlariga nisbatan pastroq potensialda shakllanadi. Shu sababli eritmadagi oksidlovchi kuchni nazorat ostida ushlab turish, xususan, H_2O_2 kabi oksidlovchi reagent miqdorini ehtiyotkorlik bilan sozlash orqali tellurni boshqa metallar cho'kmasi hosil bo'lishidan oldin ajratib olish mumkin bo'ladi. Bunday yondashuv Te ni yuqori selektivlik bilan ajratish imkonini beradi va keyingi bosqichlarda boshqa elementlar bilan to'g'ri ishlashga zamin hozirlaydi [6, 8, 10].

Molibden (Mo) texnogen eritmalarda odatda Mo^{6+} ionlari shaklida mavjud bo'lib, u pH=5–9 va 0,0–0,5 V oralig'idagi elektrokimyoviy sharoitda MoO_2 ko'rinishidagi oksid cho'kmasi sifatida ajraladi. Shu bilan birga, ushbu pH muhitida temir (Fe), rux (Zn) va qo'rg'oshin (Pb) kabi og'ir metallar ham gidroksid shaklida cho'kma hosil qilishi mumkin. Bu esa Mo ni selektiv ajratish jarayonida ayrim murakkabliklar tug'diradi.

Biroq, bu metallar orasidagi fazaviy farq – ya'ni Mo oksid shaklida, boshqa metallar esa ko'pincha gidroksid shaklida cho'kishi – selektiv ajratish uchun muhim imkoniyat tug'diradi. Ushbu farqdan foydalangan holda fazaviy tanlab olish yondashuvi orqali MoO_2 ni eritmadan boshqa

metallar cho'kmalaridan ajratib olish mumkin. Natijada, molibdeni barqaror va aniq sharoitda, boshqa metallar ishtirokini minimallashtirgan holda samarali ajratish imkoni hosil qilinadi.

Xulosa. O'tkazilgan tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, mis eritish texnologiyasi natijasida hosil bo'ladigan texnogen eritmalar tarkibida Dy, Mo va Te kabi noyob metallar mavjud bo'lib, ularni selektiv ajratib olish imkoniyati mavjud va ilmiy asosda asoslanadi. Har bir element uchun potensial–pH diagrammalari asosida eng qulay cho'ktirish sharoitlari aniqlanib, texnologik jihatdan qo'llanilishi mumkin bo'lgan optimal pH va elektrokimyoviy potensial oralig'i belgilandi [8-9].

Dy ni $\text{pH} > 7,5$ da Dy_2O_3 shaklida, Te ni $\text{pH} = 5-8$ va $E = 0,5-0,7$ V sharoitda TeO_2 holatida, Mo ni esa $\text{pH} = 5-9$ va $E = 0,0-0,5$ V oralig'ida MoO_2

shaklida ajratish mumkinligi isbotlandi. Biroq, eritma tarkibida mavjud bo'lgan boshqa og'ir metallar (Fe, Zn, Cu, Ag, Sb va boshqalar) bilan ionlararo raqobat selektivlikka to'sqinlik qilishi mumkin. Shu sababli selektiv ajratish samaradorligini oshirish uchun bir qator yondashuvlar – jumladan, niqoblovchi reagentlardan foydalanish, oksidlovchi muhitni nazorat qilish hamda cho'kma fazalar orasidagi farqlarga asoslangan filtratsiya texnologiyalarini qo'llash tavsiya etiladi.

Natijada, texnogen eritmalarini chuqur tahlil qilish va ulardan noyob metallarni ajratib olish orqali ikkilamchi xomashyo manbalaridan foydalanish darajasini oshirish, chiqindisiz texnologiyalarga o'tish va ekologik xavfsizlikni ta'minlash imkoniyatlari kengayadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Khojiev, S.T. Processing of copper slag using waste tires // *Metallurgist*. – 2025. – T. 68. – № 8. – P. 1-10.
2. Hou Y., Yu J., Zheng D., Xu J., Ma G., Khojiev S., Kadirov N. Preparation and chromatic performance of black ceramic tiles from chromium slag, copper slag and silicon manganese slag // *Journal of Ceramic Processing Research*. – 2025. – T. 26. – № 1. – P. 139 - 147.
3. Kholikulov D., Khojiev Sh., Khaydaraliev Kh., Boltayev O., Khujayev T., Abdiev O., Yusupov A. Application of ozone for the treatment of process solutions and wastewater in copper production // *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*. – 2025. – T. 1. – № 19. – P. 193-197.
4. Zhuang, M., Zhang, H., Li, X., Zheng, S., Li, L. An innovative hybrid hydrometallurgical approach for precious metals recovery // *Journal of Environmental Management*. – 2022. – Vol. 311. – Article 114780. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.114780.
5. Bai, L., Lv, J., Peng, S., Yu, H., Xu, J., Wang, X. Selective extraction of precious metals in the polar aprotic solvent // *Waste Management*. – 2022. – Vol. 145. – P. 244–251. – DOI: 10.1016/j.wasman.2022.04.027.
6. Wenda, A., Wenda, D. Solvent extraction as a method of recovery and separation of platinum group metals // *Materials*. – 2023. – Vol. 16, № 12. – Article 4208. – DOI: 10.3390/ma16124208.
7. Dvořák, M., Kukurugya, F., Orac, D. Precipitation of precious metals concentrates from post-elution solutions from ion-exchange processes // *Minerals*. – 2024. – Vol. 14, № 6. – Article 625. – DOI: 10.3390/min14060625.
8. Lee, J.-C., Lee, K.-S., Kim, S.-K. Ionic liquids-assisted solvent extraction of precious metals from chloride solutions // *Solvent Extraction and Ion Exchange*. – 2022. – Vol. 40, № 5. – P. 463–478. – DOI: 10.1080/07366299.2022.2091458.
9. Esposito, G., Cimini, S., De Michelis, I., Vegliò, F. Optimization of sustainable processes for the extraction of precious metals from WEEE // *Chemical Engineering Transactions*. – 2024. – Vol. 111. – P. 607–612. – DOI: 10.3303/CET2411102.
10. Khojiev Sh.T., Toshpulatov A.A., Kenjaeva S.A., Khudoymuratov Sh.J. Investigating the exothermic oxidation of molybdenum dioxide: thermodynamic insights and reaction dynamics // “Kimyo sanoatining dolzarb muammolari, innovatsion yechimlari va istiqbollari” nomli xalqaro ilmiy-amaliy anjumani to'plami, Olmaliq, 1-2 noyabr, 2024 y. S. 290-291.

UO‘K: 669.334.6

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.11

OKSIDLANGAN MIS RUDASI TARKIBIDAGI MINERALLARNING QAYTA ISHLASH TEXNOLOGIYASINI TANLASHDAGI AHAMIYATI



**Elchiyeva Mohinur
Dilshod qizi**

Toshkent davlat texnika universiteti
Olmaliq filiali “Metallurgiya”
kafedrası tayanch doktranti,
Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail:
mohinurelchiyeva@gmail.com
ORCID ID: 0009-0001-4734-0278



**Xoliqulov Donyor
Bahtiyorovich**

t.f.d. professor, Toshkent davlat
texnika universiteti Olmaliq filiali,
Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: Xoliqulov.d@tdtuof.uz
ORCID ID: 0000-0001-6968-9297



**Boltayev Olmos
Najmidinovich**

PhD, Toshkent davlat texnika
universiteti Olmaliq filiali dotsenti,
Olmaliq, O‘zbekiston
Email: boss.olmos@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-4491-7617



**Niyazmetov Baxtiyor
Ergashovich**

“Olmaliq kon-metallurgiya
kombinati” AJ,
Olmaliq, O‘zbekiston
Email: b.niyazmetov@aqmk.uz

Annotatsiya. Mis metaliga talabning oshishi, qayta ishlanishi qulay bo‘lgan sulfidli mis rudalari zaxiralarining kamayishi oksidlangan, aralash tarkibdagi, balansdan tashqari mis rudalarini qayta ishlab kerakli komponentlarni ajratib olishga zarurat uyg‘otmoqda. Lekin oksidlangan mis rudalarining murakkab mineralogik tarkibi, gidrofillik xususiyati qayta ishlashda qiyinchiliklar keltirib chiqaradi. Mazkur maqolada oksidlangan mis rudalari tarkibidagi mis minerallarining fizik-kimyoviy xususiyatlari, qayta ishlash texnologiyasini tanlashdagi ahamiyatlari, flotatsiyalanish qobiliyatini oshirishda qo‘llanilishi mumkin bo‘lgan reagentlar va gidrometallurgik qayta ishlash usullari tahlil qilingan.

Kalit so‘zlar: oksidlangan mis rudasi, misning oksidli minerallari, flotatsiya, sulfidlab flotatsiyalash, sulfidlovchilar, gidrometallurgiya.

ЗНАЧЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ОКИСЛЕННОЙ МЕДНОЙ РУДЫ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ

**Эльчиева Мохинур
Дилшод кизи**

Базовый докторант кафедры
“Металлургия” Алмалыкского
филиала Ташкентского
государственного технического
университета,
Алмалык, Узбекистан

**Холикулов Донёр
Бахтиёрвич**

д.т.н., профессор, Алмалыкский
филиал Ташкентского
государственного технического
университета,
Алмалык, Узбекистан

**Болтаев Олмос
Наджмидинович**

PhD, доцент Алмалыкского
филиала Ташкентского
государственного технического
университета,
Алмалык, Узбекистан

**Ниязметов Бахтиёр
Эргашович**

АО «Алмалыкский горно-
металлургический комбинат»,
Алмалык, Узбекистан

Аннотация. Рост спроса на медь и сокращение запасов сульфидных медных руд, удобных для переработки, вызывают необходимость переработки окисленных, смешанных по составу и забалансовых медных руд с целью извлечения необходимых компонентов. Однако сложный минералогический состав окисленных медных руд и их гидрофильные свойства создают трудности при переработке. В данной статье проанализированы физико-химические свойства медных минералов, содержащихся в окисленных рудах, их значение при выборе технологии переработки, возможные реагенты для повышения флотационной способности, а также гидрометаллургические методы переработки.

Ключевые слова: окисленная медная руда, окисленные минералы меди, флотация, сульфидизация и флотация, сульфидизаторы, гидрометаллургия.

THE IMPORTANCE OF THE MINERAL COMPOSITION OF OXIDIZED COPPER ORE IN THE SELECTION OF PROCESSING TECHNOLOGY

**Elchieva Mohinur
Dilshod kizi**

PhD student at the Department of
Metallurgy, Almalyk Branch of
Tashkent State Technical
University, Almalyk, Uzbekistan

**Kholikulov Donyor
Bahtiyorovich**

Doctor of Technical Sciences,
Professor, Almalyk Branch of
Tashkent State Technical
University, Almalyk, Uzbekistan

**Boltaev Olmos
Najmidinovich**

PhD, Associate Professor of the
Almalyk Branch of Tashkent State
Technical University,
Almalyk, Uzbekistan

**Niyazmetov Bakhtiyor
Ergashovich**

JSC "Almalyk Mining and
Metallurgical Combine",
Almalyk, Uzbekistan

Abstract. The growing demand for copper and the depletion of easily processable sulfide copper ore reserves necessitate the processing of oxidized, compositionally mixed, and off-balance copper ores to extract valuable components. However, the complex mineralogical composition of oxidized copper ores and their hydrophilic properties present challenges in processing. This article analyzes the physicochemical properties of copper minerals contained in oxidized ores, their importance in selecting appropriate processing technologies, potential reagents for improving flotation performance, and hydrometallurgical processing methods.

Keywords: oxidized copper ore, oxidized copper minerals, flotation, sulfidization and flotation, sulfidizing agents, hydrometallurgy.

Kirish. Rangli metall ishlab chiqarishga bo'lgan talab oxirgi yillarda sezilarli darajada oshdi. Statistik ma'lumotlarga ko'ra dunyo miqyosida mis metali iste'moli yiliga o'rtacha 23-26 million tonnani tashkil etadi. Bunga sabab sifatida elektrotexnika hamda elektromobillar ishlab chiqarish xajmining keskin oshishi ko'rsatilmoqda [1].

Mis metaliga talab yildan-yilga barqaror o'sib bormoqda. London metall birjasida 2020-yil holatiga ko'ra bir tonna mis narxi 6000-6500 AQSH dollari atrofida bo'lgan bo'lsa, 2025-yil birinchi choragiga kelib bu ko'rsatkich 9100-9300 AQSH dollarini tashkil etdi [2]. Hozirgi vaqtda tasdiqlangan va qazib olinadigan mis zaxiralari 890 million tonna deb baholanmoqda. Mutaxassislar tomonidan olib borilgan tadqiqotlarga ko'ra yangi konlar yoki mis ajratib olishning yangi texnologiyalari ishlab chiqilmasa ushbu zaxira 20 yilga yetadi [1].

An'anaviy sulfidli mis rudalaridan tashqari oksidli, aralash, balansdan tashqari mis rudalarini qayta ishlab, kerakli komponentlarni ajratib olish hozirgi kunning dolzarb masalalaridan hisoblanadi [3, 4, 5]. Lekin oksidli mis rudalarining gidrofillik xususiyati va murakkab mineralogik tarkibi sulfidli mis rudalarini qayta ishlashda qo'llaniladigan

an'anaviy texnologiyalardan foydalanishda qiyinchilik tug'diradi [6, 7].

Oksidlangan mis rudalari tarkibida mis karbonatlar – malaxit $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, azurit $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, sulfatlar – xalkantit $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, broshantit $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$, antlerit $\text{Cu}_3(\text{OH})_4\text{SO}_4$, xloridlar – atakamit $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$, alyumosilikatlar va fosfatlar – biryuza $\text{CuO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, xrikozolla $\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, oksidlar – kuprit Cu_2O va tenorit CuO va boshqalar ko'rinishida bo'ladi [8, 9, 10].

Adabiyot tahlili va metodlar. Malaxit eng keng tarqalgan misning oksidli minerali bo'lib, ruda tarkibida xalkotsit, azurit minerallari bilan birga keladi. Monoklinik kristal tuzilishga ega, unda misning ulushi 57,57 % ni tashkil etadi [11]. Xrikozolla ma'lum bir kimyoviy formulaga va tarkibga ega emas, odatda kristal holatdagi mis silikati va amorf dioksid aralashmasi sifatida tasniflanadi [12]. Kuprit odatda malaxit va xrikozolla bilan bog'langan holatda keladi. Havoda oksidlanish natijasida tenoritga aylanishi oson, shuning uchun qayta ishlash vaqtida tenoritning xususiyatlarini namoyon qilishi mumkin [13].

Yuqorida ko'rsatilgan adabiyotlarga tayanib shunday xulosaga kelish mumkinki, misning oksidli minerallari, shu jumladan malaxit, xrikozolla, kuprit

sirt yuzasining yuqori gidrofillik xususiyati sababli ular suv yuzasida suzishga moyil emas, bu esa ananaviy flotatsiya jarayonini qo'llashni murakkablashtiradi yoki butunlay ta'qiqlaydi. Malaxit aniq kristall tuzilishga ega bo'lganligi sababli sulfidlovchilar yordamida yaxshi sulfidlanadi, xrikozolla yuzasi g'ovakli bo'lib kollektor adsorbsiyasida qiyinchilik keltirib chiqaradi, bu esa xrikozolla flotatsiyasini qiyinlashtiradi. Kuprit yuzasida malaxit va xrikozollaga qaraganda faol qatlam kamroq, lekin sulfidlash orqali sirt xususiyatini o'zgartirish mumkin.

Hozirgi kunda oksidlangan mis rudalarini qayta ishlashda flotatsiya usuli keng qo'llanilmoqda. Oksidli mis minerallarini flotatsiyalash to'g'ridan-to'g'ri yoki sulfidlab amalga oshirilishi mumkin [14]. To'g'ridan-to'g'ri flotatsiya yig'uvchi, ko'pik xosil qiluvchilardan foydalanigan holda amalga oshirilsa, sulfidlab flotatsiyalash mineralarning sirt yuza xususiyatlarini o'zgartirish uchun sulfidlovchilardan foydalanish orqali amalga oshiriladi [15, 16, 17, 18, 19].

Misning oksidli minerallarini to'g'ridan-to'g'ri flotatsiyalashda yig'uvchi sifatida ksantogenat yaxshi samara bermaydi [20]. Xelat kollektori mis oksidi uchun yaxshi yig'uvchi xususiyatga ega, aralash tarkibdagi rudalarda ham yaxshi samara beradi [21], lekin ularning kamchiligi selektivlik xususiyati yo'q bo'lib puch tog' jinslarini ham adsorbsiyalashi mumkin [22], mazkur tipdagi yig'uvchilar bilan solishtirilganda natriy oleat kabi yog' kislotalari ham yig'uvchi sifatida, ham iqtisodiy jihatdan samaraliroqdir [23]. Bundan tashqari gidroksamik kislota [24], oktil gidroksamik kislota [25], benzogidroksamik kislota [26] lar malaxitning gidrofoblik xususiyatini oshirib yaxshi flotatsiyalanishini ta'minlashi mumkin.

Tarkibi murakkab bo'lmagan, yuqori navli oksidlangan mis rudalarini flotatsiyalashda to'g'ridan-to'g'ri usuldan foydalanish mumkin, ammo sanoatda, murakkab tarkibli, past sifatli rudalar uchun bu usul past selektivlik xususiyati, yuqori narxi, olingan konsentratdagi sifatning pastligi tufayli samarali emas deb baholanadi.

Sulfidlab flotatsiyalashda sulfidlovchilar yordamida mis oksidi minerallarining yuzasida mis sulfidlari hosil bo'lishi hatto sulfidli qobiq hosil bo'lishi mumkin, shu sababli mis oksidi minerali mis sulfidi kabi xususiyatga ega bo'ladi, natijada

yaxshi flotatsiyalanadi [27]. Mis oksidi mineralarini sulfidlash jarayonida sulfidlanish natijalariga ko'plab omillar ta'sir qilishi mumkin. Masalan, mineral sirtining strukturaviy xususiyatlari, sulfidlovchi reagent turi va dozasi, sulfidlanish vaqti, pH muhiti, harorat va boshqalar [28, 29, 30].

Sulfidlovchilar sifatida oltingugurt, ammoniy sulfid, natriy sulfid, natriy gidrosulfid, natriy polisulfidlar keng qo'llaniladi [31, 32, 33]. Natriy gidrosulfid misning flotatsiya samarali sulfidlovchi, natriy gidrosulfid bilan ammoniy sulfidining 1:1 aralashmasidan foydalanish flotatsiya samaradorligini sezilarli darajada oshirgan [34].

Sulfidlovchi reagent miqdori to'g'ridan-to'g'ri jarayonga ta'sir ko'rsatadi, dozani sozlash orqali mis oksidi flotatsiyasini faollashtirishi yoki susaytirishi mumkin. Yetarli bo'lmagan miqdor mineral yuzasida yetarlicha sulfid pardani hosil qilmaydi, ortiqcha miqdor esa yig'uvchi reagent sarfini oshirishi mumkin [33].

Sulfidlanish vaqti mineral yuzasida sulfid parda qoplanishi va intensivligiga ta'sir qiladi, agar vaqt juda qisqa bo'lsa sulfidlanish darajasi yetarli bo'lmaydi, agar sulfidlanish vaqti uzoq kechsa sulfidlovchining ta'siri pasayadi, natijada sulfid parda mineral yuzasidan tushib ketadi va minerallar yaxshi flotatsiyalanmaydi [35].

Oksidli mis minerallari flotatsiyasida pH 8-10 da malaxitning sulfidlanishi va suzuvchanligi yaxshi bo'ladi [36], kislotali muhitda ksantogenatlar parchalanadi [37]. Agar pH 10 dan yuqori bo'lsa gidroksid ionlari hosil bo'lishi kuchayadi va malaxitning ksantogenatga adsorbsiyasini susaytiradi. Mis oksidlari uchun flotatsiya muhiti 9-9,5 eng yaxshi ko'rsatkich hisoblanadi [38].

Sulfidlash haroratining oshishi sulfidlanish darajasi va samaradorligini oshiradi, biroq yuqori harorat ishlab chiqarish xarajatlari oshishiga, flotamashina va atrof-muhit muammolariga olib kelishi mumkin [39].

Sulfidlab flotatsiyalashda pulpada hosil bo'lgan ortiqcha sulfidlar jarayonda yig'uvchi reagent bilan raqobatlashadi, ya'ni yig'uvchi reagentning mineral yuzasiga yopishishiga to'sqinlik ko'rsatadi, bu flotatsiya samaradorligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli jarayonda maqbul parametrlarni – sulfidlovchi miqdori, vaqt, pH ko'rsatkich, harorat va boshqalarni to'g'ri tanlash muhim hisoblanadi.

Sulfidlab flotatsiyalashda faollashtiruvchi reagentlardan foydalanish minerallar yuzasida faol joylar hosil bo'lishiga va yig'uvchi reagentning yaxshi adsorbsiyasiga sabab bo'ladi. Faollashtiruvchilar sifatida a-benzoin oksim, antranilik kislota, kupferron, N-benzoil-N-fenilgidroksilamin, 8-gidroksixinolinlarni qo'llash xrikozollar flotatsiyasida yaxshi natija ko'rsatgan [40, 41]. Bundan tashqari 1H-Benzotriazol oksidli mis minerallarini sulfidlab flotatsiyalashda yaxshi faollantiruvchi ta'sir ko'rsatadi, minerallarning sirt barqarorligini oshiradi, yig'uvchi reagent adsorbsiyasi uchun qulay sharoit ta'minlaydi [42].

Oksidli mis minerallari uchun faollashtiruvchi sifatida ammoniy / amin tuzlarini qo'llash sulfidlanish muhitini yaxshilashi, minerallar yuzasida faol joylar sonini oshirishi va sulfidlanishni kuchaytirishi mumkin. Bundan tashqari ammoniy tuzi sulfid ionlarining salbiy ta'sirini kamaytirish uchun pulpada bufer bo'lib qatnashishi mumkin [43]. Etilendiamin fosfat minerallarda sulfidlovchi va yig'uvchilar adsorbsiyasi tezligini oshirib jarayonni tezlashtirishi mumkin [44]. Bundan tashqari etilendiamin fosfat jarayonda puch tog' jinslarining birikishi va cho'kishini tezlashtiradi [45].

Vodorod peroksid yordamida kuprit yuzasini modifikatsiya qilish va uning sulfidlanish qobiliyatini oshirish imkoni mavjud [46]. Mis oksidini sulfidlab flotatsiyalashda natriy butil ksantat (NaBX) va dodetsilamin (DDA) kombinatsiyalangan kollektor sifatida foydalanilgan. Tadqiqot natijalariga ko'ra NaBX va DDA birgalikda ishlatish pH 7-11 oralig'ida faqat NaBX dan foydalanishga qaraganda samaraliroq, NaBX va DDA ning optimal molyar nisbati 2:1. NaBX+DDA miqdori (100+54) g/t bo'lganda misning tiklanishi 15,93% dan 76,73% ga oshgan [47].

Xulosa qilib aytganda oksidlangan mis minerallarini flotatsiyalash hozirgi kunda keng tarqalgan va samaradorligi yuqori usullardan biri. Lekin oksidli mis minerallarining yuqori sirt gidrofillik xususiyati hamda murakkab mineralogik tarkibi tufayli to'g'ridan-to'g'ri flotatsiyalash yaxshi natija bermaydi. Jarayonda sulfidlovchilar yordamida sulfidlab flotatsiyalashdan foydalanish ya'ni oltingugurt, natriy sulfid, ammoniy gidrosulfid, natriy gidrosulfid va shu kabi sulfidlovchilar yordamida mineral yuzalarida sulfid qatlam hosil qilish orqali minerallarning gidrofoblik xususiyatini

oshirish keng foydalanilayotgan, iqtisodiy samara berayotgan usul hisoblanadi.

Oksidlangan mis rudalarini qayta ishlashning yana bir samarali usullaridan biri bu gidrometallurgik qayta ishlash hisoblanadi. Gidrometallurgik qayta ishlashda uyumda tanlab eritish, bakteriyalar yordamida tanlab eritish, avtoklavda tanlab eritish amaliyotda keng qo'llanilgan [48, 49].

Bakteriologik tanlab eritishda T.ferrooxidans-atsidofil tiobatsillalardan foydalanilgan. Oksidlangan mis rudasi, oltingugurt, xalkopirit nisbati 1:1:1, oksidlangan mis rudasi oltingugurt va xalkopirit aralashtirilganda misning erish darajasi 61% ga yetgan [50]. Erituvchi sifatida organik kislota ($C_4H_6O_6$, tartarik kislota) dan foydalanilganda tadqiqot natijalari tanlab eritish jarayonida ushbu organik reagentning samaradorligini, tejamkorligini va ekologik tozaligini ko'rsatadi. Ruda 0,074 mm gacha yanchilgan, organik kislota konsentratsiyasi 0,2 mol/l, jarayon davomiyligi 60 daqiqa, S:Q nisbati 1:10, harorat 25 °C, aralashtirish tezligi 300 ayl/min, misning eritmaga ajralishi 73,18%. Tartatik kislota yordamida malaxitdan misni tanlab eritish an'anaviy kislotalarga qaraganda ekologik toza va iqtisodiy samaradorligi isbotlangan [51]. Tanlab eritishda etilendiaminet-rasirka kislotasining ($EDTA \cdot 2Na$) dinatriyli tuzining suvli eritmasidan foydalanilganda reagent konsentratsiyasining oshishi jarayon tezligini oshirgan, S:Q nisbati jarayon tezligiga sezilarli ta'sir ko'rsatmagan [52]. Shuningdek ammiak sulfati yordamida tanlab eritishda eritmada mis – 1,24 g/l, misning ajralish darajasi – 87,96% ni ko'rsatgan. Mazkur usul kombinatsiyalangan flotatsion va tanlab eritish jarayonining amaliyotda qo'llash imkoniyatini ko'rsatadi. Misni ammiak sulfati bilan tanlab eritish nafaqat ekologik, balki iqtisodiy jihatdan ham samarali usul bo'lib, yuqori regeneratsiya va sifatli mahsulot olish imkonini beradi [53]. Bundan tashqari sianid eritmasi [54] va sulfat kislota [55] oksidlangan rudalar uchun yaxshi erituvchi hisoblanadi.

Natijalar va muhokama. Hozirgi kunda chuchuk suv resurslaridan oqilona foydalanish maqsadida dengiz suvi yoki sho'r suvni qo'llagan holda tanlab eritish jarayonlarini amalga oshirish ishlari o'rganilmoqda. Bu usul mikrobiologik faoliyatni oshirish va chuchuk suv sarfini kamaytirish imkonini beradi. Kalsiy xlorid eritmasi yordamida

tanlab eritishda misning ajralishi 99% ga yetgan, kalsiy xlorid konsentratsiyasi 110-165 g/l, zarracha o'lchamini 15 mikronga yetkazish mis ajralishini 0,2, temir ajralishini 2% ga oshirgan. Erituvchi sifatida xlorid-sulfat eritmasidan foydalanilganda xlorid jarayonda katalizator sifatida ishtirok etgan, yuqori konsentratsiyali xlorli oqova suvlari orqali past sifatli, aralash tarkibdagi mis rudalarini tanlab eritish bo'yicha olib borilgan tadqiqotlarda harorat 80°C, davomiyligi 4 soat, misni ajralish darajasi – 89,46% ga yetgan.

“Olmalik KMK” AJ Qalmoqir koni oksidlangan mis rudalarini 92-95% puch tog' jinslari tashkil etadi, ularning asosiy qismi kvars, dala shpati, qisman muskovit, xlorit, biotit, magnetit, apatit va boshqalar. Ruda minerallari esa 3-8% ni tashkil etib asosan kvars tomirlari bilan uchraydi. Ruda tarkibida mis malaxit, kuprit, xalkozin, kovellin, bornit, kubanit va xalkopirit ko'rinishida uchraydi, bunda malaxitning ulushi ko'proq (1-jadval).

1-jadval

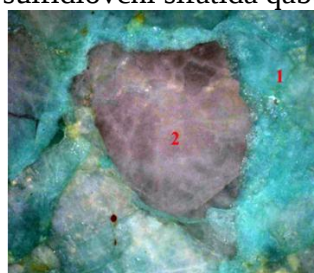
“Olmalik KMK” AJ Qalmoqir koni oksidlangan mis rudasi tarkibida misning minerallarda taqsimlanishi

Mineral	Misning ulushi, %
Xalkopirit	15,90
Bornit	3,85
Kovellin-xalkozin	19,55
Qo'shimcha sulfidlar	2,71
Mis karbonatlari	19,96
Mis sulfatlari	8,99
Xrikozolla va bog'langan mis	18,70
Pseudomalaxit	3,76
Turkuz	0,60
Kuprit	0,31
Oksidlar / Gidroksidlar (Fe)	5,66
Jami:	100,00

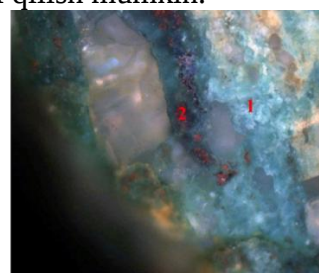
Malaxit tomirlar, to'plamlar shaklida uchraydi, tomirlar tosh yoriqlari bo'ylab rivojlangan va temir gidroksidlari bilan birga kelgan (1-rasm). Malaxitning zarracha o'lchami o'rtacha 0,02-0,5

mm.

“Olmalik KMK” AJ Qalmoqir koni oksidlangan mis rudasining asosini kvars minerali tashkil etib misning katta qismi malaxit ko'rinishida tarqalgan. Malaxit rudada kvars hamda temir gidroksidi bilan bog'langan holatda uchraydi. Yuqoridagi adabiyotlarda keltirilgan ma'lumotlardan kelib chiqqan holda shunday xulosaga kelish mumkinki, bunday shakldagi malaxitni flotatsiyalanishini ta'minlashda yig'uvchi reagent sifatida natriy oleat yaxshi samara beradi. Oktil gidroksamat va kerosin aralashmasi malaxitning temir gidroksid bilan birgalikdagi ko'rinishida yaxshi natija ko'rsatadi, jarayonda kerosinning bir me'yorda taqsimlanishi uning malaxit yuzasida tarqalishini ta'minlaydi, bu esa uning gidrofoblik xususiyatini oshiradi. Ammoniy sulfid va natriy sulfidning mos ravishda malaxitning sulfidlanishiga ta'siri o'rganilganda ammoniy sulfid ionlari bo'lgan malaxit natriy sulfid ionlari bo'lgan malaxitga qaraganda yuqori flotatsiya natijalarini ko'rsatganini hisobga olib ammoniy sulfidni yaxshi sulfidlovchi sifatida qabul qilish mumkin.



1 - malaxit, 2 - kvars



1 - malaxit, 2 - temir gidroksidi

1-rasm. Malaxitning temir gidroksidi va kvars bilan birgalikdagi ko'rinishi.

Xulosa. 1-jadvaldan ko'rinadiki, ruda tarkibidagi misning 40-42% i sulfid ko'rinishida, 58-60% i oksidlangan holatda. Bunday aralash, murakkab tarkibdagi rudani qayta ishlashda faqat flotatsiya yoki gidrometallurgiya usulidan foydalanish yetarli natija bermaydi, kombinatsiyalangan usuldan foydalanish mis va boshqa kerakli komponentlarni ajratib olish imkoniyatini oshiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. International Copper Study Group. (2024). The world copper factbook 2024 (pp. 5–6).
2. London Metal Exchange. (n.d.). LME Copper. Retrieved from <https://www.lme.com/en/Metals/Non-ferrous/LME-Copper#Summary>

3. Yagudin, R. A., Yagudina, Yu. R., & Emelyanenko, E. A. (2014). Mis-kolchedan rudalarini qayta ishlashning texnologik yechimlari. *Gornyi Zhurnal*, (7), 30–33. <https://www.rudmet.ru/journal/1330/article/22746/>
4. Ryl'nikova, M. V., Emelyanenko, E. A., Gorbato, E. A., & Yagudina, Yu. R. (2016). Uraldagi mis-kolchedan konlari rudalarini qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish. *Gornyi Zhurnal*, (12). <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.12.14>
5. Boduen, A. Ya. (2023). Past navli va sifatsiz mis konsentratlarini qayta ishlashning gidrometallurgik usullari. *Gornyi Zhurnal*, (10). <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.10.05>
6. Gu, G., Zhu, R., & Chen, Z. (2019). Structural modification of cellulose to enhance the flotation efficiency of fine copper oxide ore. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 55(1), 58–69.
7. Emmanuel, B., Ajayi, J. A., & Makhatha, E. (2019). Investigation of copper recovery rate from copper oxide ore occurring as coarse grains locked in a porphyritic fine grain alumina and silica. *Energy Procedia*, 157, 972–976.
8. Mitrofanov, S. I., Meshaninova, V. I., Kurochkina, A. V., Maiorov, A. D., & Shcherbakov, V. A. (1984). *Kombinirovannye protsessy pererabotki rud tsvetnykh metallov*. Moskva: Nedra.
9. Sanakulov, K. S. (2009). Perspektivy pererabotki oksislennykh mednykh rud mestorozhdeniya Kal'makyr. *Gornyi Vestnik Uzbekistana*, (3), 47–49.
10. Elchiyeva, M. D., Xoliqulov, D. B., & Boltayev, O. N. (2024). “Olmalik KMK” AJ sharoitida oksidlangan mis rudalarini qayta ishlash imkoniyatlari. *International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences*. <https://doi.org/10.24412/2181-144X-2024-1-80-87>
11. Mao, Y. B., Deng, J. S., Wen, S. M., & Fang, J. J. (2015). Reaction kinetics of malachite in ammonium carbamate solution. *Chemical Papers*, 69(9), 1187–1192.
12. Horlick, J. M., Cooper, W. C., & Clark, A. H. (1981). Aspects of the mineralogy and hydrometallurgy of chrysocolla, with special reference to the Cuajone, Peru, ores. *International Journal of Mineral Processing*, 8(1), 49–59.
13. Habbache, N., Alane, N., Djerad, S., & Tifouti, L. (2009). Leaching of copper oxide with different acid solutions. *Chemical Engineering Journal*, 152(2–3), 503–508.
14. Zhang, Q., Wen, S. M., Feng, Q. C., & Wang, H. (2022). Enhanced sulfidization of azurite surfaces by ammonium phosphate and its effect on flotation. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 29(6), 1150–1160.
15. Baranov, V. F. (2020). Sulfidli va aralash tarkibli mis rudalarini qayta ishlovchi xorijiy boyitish fabrikalarining ish tajribasini ko'rib chiqish. *Obogashchenie Rud*, (3). <https://doi.org/10.17580/or.2020.03.08>
16. Kongolo, K., Kipoka, M., Minanga, K., & Mpoyo, M. (2003). Improving the efficiency of oxide copper-cobalt ores flotation by combination of sulphidisers. *Minerals Engineering*, 16(10), 1023–1026.
17. Feng, Q., Yang, W., Wen, S., Wang, H., Zhao, W., & Han, G. (2022). Flotation of copper oxide minerals: A review. *International Journal of Mining Science and Technology*, 32(6), 1351–1364. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2022.08.008>
18. Gu, G., Zhu, R., & Chen, Z. (2019). Structural modification of cellulose to enhance the flotation efficiency of fine copper oxide ore. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 55(1), 58–69.
19. Jiang, D., Lan, J., Zhao, W., Zhang, Z., & Lan, Y. (2017). Activation of chrysocolla flotation by organic chelating agents. *RSC Advances*, 7(57), 35608–35612.
20. Kongolo, K., Kipoka, M., Minanga, K., & Mpoyo, M. (2003). Improving the efficiency of oxide copper-cobalt ores flotation by combination of sulphidisers. *Minerals Engineering*, 16(10), 1023–1026.

21. Yang, X. L., Liu, S., Liu, G. Y., & Zhong, H. (2017). A DFT study on the structure–reactivity relationship of aliphatic oxime derivatives as copper chelating agents and malachite flotation collectors. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 46, 404–415.
22. Deng, T., & Chen, J. Y. (1991). Treatment of oxidized copper ores with emphasis on refractory ores. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 7(3–4), 175–207.
23. Choi, J., Choi, S. Q., Park, K., Han, Y., & Kim, H. (2016). Flotation behaviour of malachite in mono- and di-valent salt solutions using sodium oleate as a collector. *International Journal of Mineral Processing*, 146, 38–45.
24. Lee, K., Archibald, D., McLean, J., & Reuter, M. A. (2009). Flotation of mixed copper oxide and sulphide minerals with xanthate and hydroxamate collectors. *Minerals Engineering*, 22(4), 395–401.
25. Bulatovic, S. M. (2010). Flotation of oxide copper and copper cobalt ores. In *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice* (pp. 47–65). Amsterdam: Elsevier.
26. Marion, C., Jordens, A., Li, R. H., Rudolph, M., & Waters, K. E. (2017). An evaluation of hydroxamate collectors for malachite flotation. *Separation and Purification Technology*, 183, 258–269.
27. Han, G., Wen, S. M., Wang, H., & Feng, Q. C. (2021). Identification of copper-sulfide species on the cuprite surface and its role in sulfidization flotation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 624, 126854.
28. Gu, G., Zhu, R., & Chen, Z. (2019). Structural modification of cellulose to enhance the flotation efficiency of fine copper oxide ore. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 55(1), 58–69.
29. Castro, S., Soto, H., Goldfarb, J., & Laskowski, J. (1974). Sulphidizing reactions in the flotation of oxidized copper minerals II: Role of the adsorption and oxidation of sodium sulphide in the flotation of chrysocolla and malachite. *International Journal of Mineral Processing*, 1(2), 151–161.
30. Deng, R. D., Hu, Y., Ku, J. G., Zuo, W. R., & Yang, Z. G. (2017). Adsorption of Fe(III) on smithsonite surfaces and implications for flotation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 533, 308–315.
31. Bekturganov, N., Katkeeva, G., Oskembekov, I., & Akubaeva, M. (2016). Sulfidization application during the processing of oxidized copper ores of Udokan deposit. *Tsvetnye Metally*, 22–27. <https://doi.org/10.17580/tsm.2016.09.02>
32. Zhou, R., & Chander, S. (1993). Kinetics of sulfidization of malachite in hydrosulfide and tetrasulfide solutions. *International Journal of Mineral Processing*, 37(3–4), 257–272.
33. Park, K., Park, S., Choi, J., Kim, G., Tong, M. P., & Kim, H. (2016). Influence of excess sulfide ions on the malachite-bubble interaction in the presence of thiol-collector. *Separation and Purification Technology*, 168, 1–7.
34. Kongolo, K., Kipoka, M., Minanga, K., & Mpoyo, M. (2003). Improving the efficiency of oxide copper–cobalt ores flotation by combination of sulphidisers. *Minerals Engineering*, 16(10), 1023–1026. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0892687503002632>
35. Atrafi, A., Hodjatoleslami, H., Noaparast, M., Shafaei, Z., & Ghorbani, A. (2012). Implementation of flotation and gravity separation, to process Changarzeh sulfide-oxide lead ore. *Journal of Mining and Environment*, 3, 79–87.
36. Feng, Q. C., Zhao, W. J., Wen, S. M., & Cao, Q. B. (2017). Copper sulfide species formed on malachite surfaces in relation to flotation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 48, 125–132.
37. Iwasaki, I., & Cooke, S. R. B. (1964). Decomposition mechanism of xanthate in acid solution as determined by a spectrophotometric method. *Journal of Physical Chemistry*, 68(7), 2031–2033.

38. Han, G., Wen, S. M., Wang, H., & Feng, Q. C. (2021). Sulfidization regulation of cuprite by pre-oxidation using sodium hypochlorite as an oxidant. *International Journal of Mining Science and Technology*, 31(6), 1117–1128.
39. Qiu, X. Y., Li, S. P., Deng, H. B., & He, X. J. (2007). Study of heating surface sulfurized flotation dynamics of smithsonite. *Nonferrous Metals Mineral Processing*, 1, 24–26.
40. Jiang, D., Lan, J., Zhao, W., Zhang, Z., & Lan, Y. (2017). Activation of chrysocolla flotation by organic chelating agents. *RSC Advances*, 7(57), 35608–35612.
41. Xu, X., & Liu, B. (1993). The properties of the flotation of chrysocolla using organic chelating reagents as activators. *Journal of Kunming University of Science and Technology*, 3, 36–41.
42. Ren, Z. W. (2003). Application of activator in flotation of oxide copper ore. *Yunnan Metallurgy*, 32(1), 24–25.
43. Cai, J. P., Su, C., Ma, Y. Y., Yu, X. C., Peng, R., Li, J. L., Zhang, X. L., Fang, J. J., Shen, P. L., & Liu, D. W. (2022). Role of ammonium sulfate in sulfurization flotation of azurite: Inhibiting the formation of copper sulfide colloid and its mechanism. *International Journal of Mining Science and Technology*, 32(3), 575–584.
44. Feng, Q. C., Zhao, W. J., & Wen, S. M. (2018). Surface modification of malachite with ethanediamine and its effect on sulfidization flotation. *Applied Surface Science*, 436, 823–830.
45. Shao, H. (1999). Progress in research on eliminating influences of slime on refractory copper oxide ore flotation. *Yunnan Metallurgy*, 3, 15–18.
46. Guang, X., Wen, S. M., Vang, X., & Feng, Q. (2021). Enhanced sulfidization flotation of cuprite by surface modification with hydrogen peroxide. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 31(11), 3564–3578. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1003632621657485>
47. Yin, W. Z., Sun, Q. Y., Li, D., Tang, Y., Fu, Y., & Yao, J. (2019). Mechanism and application on sulphidizing flotation of copper oxide with combined collectors. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 29(1), 178–185. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S100363261864926X>
48. Seredkin, Y. G., Aksenov, A., & Senchenko, A. (2014). Searching for technology for complex gold-copper ore treatment. In *IMPC 2014 - 27th International Mineral Processing Congress*.
49. Novokshanova, V. N., Lebed, A. B., Vasilev, E. A., & Naboychenko, S. S. (2013). Research of a heap leaching of copper from the Volkovskoe deposit ore (pp. 28–31).
50. Zafar, K., & Kauser, M. (1988). Leaching of chalcopyrite by *Thiobacillus thiooxidans* and oxidized copper ore by *Thiobacillus ferrooxidans* isolated from local environments. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 4, 447–453. <https://doi.org/10.1007/BF00940171>
51. Türk, F., & Arslanoğlu, H. (2024). Investigation of leaching conditions and leaching kinetics of oxidized copper ore malachite at atmospheric pressure using tartaric acid solution. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 77, 1–7. <https://doi.org/10.1007/s12666-024-03358-0>
52. Faxin, X., Zhihua, L., Yu, P., Xuwei, L., Yaoyu, Y., Shuchen, S., & Ganfeng, T. (2024). Leaching kinetics of Cu from low-grade oxidized copper ore with high alkalinity gangue using EDTA·2Na solution. *JOM*. <https://doi.org/10.1007/s11837-024-06649-5>
53. Gorlova, O., Medyanik, N., Yun, A., & Sinyanskaya, O. (2018). Combined processing of dumped complex copper ores of the Taskora deposit: Process development and field trials. *Tsvetnye Metally*, 14–20. <https://doi.org/10.17580/tsm.2018.12.02>
54. Konareva, T., & Kirilchuk, M. (2020). Research of combined reagent schemes of activation leaching of gold from oxidized ores of the Malmyzh field. *E3S Web of Conferences*, 192, 02020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019202020>
55. Tomina, V., Khrennikov, A., Lebed, A., & Naboychenko, S. (2010). Heap leaching of copper from the ores of Volkovskoe deposit. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 51, 263–267. <https://doi.org/10.3103/S1067821210040012>

UO‘K: 629.1.07

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.14

KARYERDAGI BELAZ RUSUMLI AVTOSAMOSVALLARNING DIZEL YOQILG‘ISI SARFINI OSHISHIGA TA‘SIR QILUVCHI OMILLARINING TAHLILI



Kayumov Umidjon Erkinovich

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, “Konchilik
elektr mexanikasi” kafedrası, katta o‘qituvchisi,

Navoiy, O‘zbekiston

E-mail: kayumov_umidjon@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-2147-8973



Istamov Muhammad Farxodovich

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, “Konchilik
elektr mexanikasi” kafedrası assistanti, Navoiy, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqola karyer avtosamosvallarining yoqilg‘i sarfining ko‘payishiga hamda BelAZ avtosamosvallarining ish samaradorligiga ta‘sir qiluvchi muammolarni tahlil qilishga qaratilgan. Shuningdek karyer avtosamosvallar uchun yoqilg‘i iste‘molining me‘yorlarini aniqlashning turli usullari tahlil qilingan. Tadqiqot natijasida avtosamosvallarning ishlashi to‘g‘risida Navoiy kon metallurgiya kombinati Markaziy kon boshqarmasining bo‘linmasi Avtomobil transporti boshqarmasidan ma‘lumotlar to‘plandi hamda dizel yoqilg‘isi sarfiga ta‘sir qiluvchi omillar tahlil qilindi. Tadqiqot o‘tkazish natijasida avtosamosvallarning ekspluatatsion ko‘rsatkichlari baholandi shuningdek tog‘ jinsini tashish davomida yoqilg‘i sarfiga ta‘sir etuvchi ko‘rsatkichlar aniqlandi. Bundan tashqari yoqilg‘i sarfini hisoblashning bir qancha usullari taklif qilingan hamda bu ko‘rsatkichga ta‘sir qiluvchi qo‘shimcha parametrlar aniqlandi. Izlanishlar natijasida avtosamosvallarni ishlatish vaqtida yoqilg‘i sarfini kamaytirish orqali samaradorlikni oshirish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqildi.

Kalit so‘zlar: avtosamosval, yoqilg‘i, ichki yonuv dvigateli, dizel yoqilg‘i, sarf me‘yorlari, yo‘l qoplamalari, yuk ko‘tarish qobiliyati, burilish radiusi, ekspluatatsion ko‘rsatkich, g‘ildirak bosimlari.

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА ПОВЫШЕННЫЙ РАСХОД ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ МАРКИ БЕЛАЗ

Каюмов Умиджон Эркинович

Навоийский государственный горно-технологический
университет, кафедра горной электромеханики, старший
преподаватель, Навои, Узбекистан

Истамов Мухаммад Фарходович

Навоийский государственный горно-технологический
университет, доцент кафедры горной электромеханики,
Навои, Узбекистан

Аннотация. Целью данной статьи является анализ проблем, влияющих на увеличение расхода топлива карьерных самосвалов, а также на эффективность работы самосвалов БелАЗ. Также были проанализированы различные методы определения норм расхода топлива для карьерных автосамосвалов. В результате исследования были собраны данные о работе автосамосвалов от управления автомобильного транспорта подразделения Центрального горного управления Навоийского горно-металлургического комбината, а также проанализированы факторы, влияющие на расход дизельного топлива. В результате исследований дана оценка эксплуатацион-

ных показателей автосамосвалов, а также выявлены показатели, влияющие на расход топлива при транспортировке горной массы. Кроме того, предложено несколько методов расчета расхода топлива и определены дополнительные параметры, влияющие на этот показатель. В результате исследований были разработаны рекомендации по повышению эффективности за счет снижения расхода топлива при эксплуатации автосамосвалов.

Ключевые слова: автосамосвал, топливо, двигатель внутреннего сгорания, дизельное топливо, нормы расхода, дорожное покрытие, грузоподъемность, радиус поворота, эксплуатационные показатели, давление в шинах.

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE INCREASED CONSUMPTION OF DIESEL FUEL BY BELAZ DUMP TRUCKS IN A QUARRY

Kayumov Umidjon Erkinovich

Navoi State University of Mining and Technology, Department of
Mining Electrical Mechanics, Senior Lecturer,
Navoi, Uzbekistan

Istamov Muhammad Farkhodovich

Navoi State University of Mining and Technology, Assistant
Professor, Department of Mining Electrical Mechanics,
Navoi, Uzbekistan

Abstract. The purpose of this article is to analyse the problems affecting the increase in fuel consumption of mine dump trucks, as well as the efficiency of BelAZ dump trucks. Various methods of determining fuel consumption rates for dump trucks have also been analysed. As a result of the study, data on the operation of dump trucks from the road transport department of the Central Mining Department of Navoi Mining Division of Navoi Mining and Metallurgical Combine were collected, and the factors affecting the consumption of diesel fuel were analysed. As a result of researches the estimation of operational indicators of dump trucks is given, and also the indicators influencing fuel consumption during transportation of rock mass are revealed. In addition, several methods of calculation of fuel consumption are proposed and additional parameters affecting this indicator are determined. As a result of the research, recommendations were developed to improve efficiency by reducing fuel consumption during the operation of dump trucks.

Keywords: dump truck, fuel, internal combustion engine, diesel fuel, consumption rates, road surface, load capacity, turning radius, performance indicators, tire pressure.

Kirish. Konchilik sanoatining rivojlanish sur'ati keskin ravishda oshib bormoqda. Bu esa konchilik korxonalarining samaradorligini oshirish uchun unda qo'llaniladigan kon uskunalarni hamda transport vositalarini takomillashtirishga undaydi. Buning natijasida dunyodagi foydali qazilmalarni tashishning eng katta ulushi hisoblanuvchi avtosamosvallarga alohida e'tibor ajratilib kelinmoqda.

Bugungi kunda Avtomobil transporti boshqarmasi NKMK Markaziy kon boshqarmasining ko'p qirrali va ko'p tarmoqli bo'linmasi bo'lib, quyidagi funktsiyalarni bajaradi:

“Muruntog’”, “Tashkura” va “Amantaytog’” karyerlarida texnologik avtomobil transportida tog' jinslari massasini va rudalarni tashish bilan shug'ullanadi;

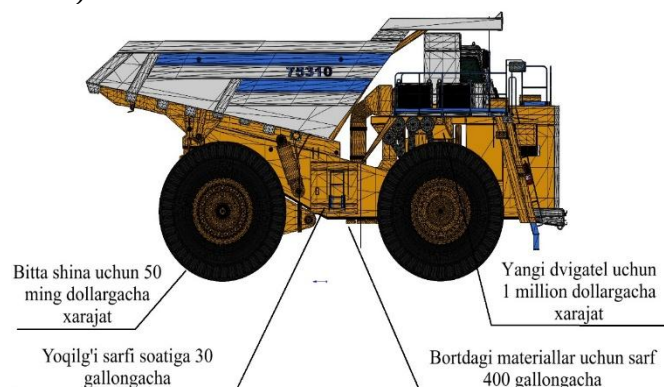
Oltin rudasini uyumlab eritmaga o'tkazish sexida maydalash va saralash majmuasiga yuklashni ta'minlaydi.

Avtomobil Transporti Boshqarmasi harakat tarkibining texnologik parki Caterpillar va BeLAZ rusumli yuk ko'tarib bilish qobiliyati 55 dan 220 tonnagacha bo'lgan zamonaviy avtosamosvallardan, Caterpillar, Komatsu, Dressta, Kirovets yo'l-qurilish mashinalaridan, shuningdek, asosan turli BeLAZ rusumli avtosamosvallar yordamchi parkidan iborat.

Avtosamosvallarning ishlashini tahlil qilishning asosiy ko'rsatkichlaridan biri sifatida yoqilg'i sarfi hisoblanib, bu ko'rsatkich ma'lum masofani bosib o'tish yoki ma'lum bir ish hajmini bajarish uchun zarur bo'lgan yoqilg'i hajmini ifodalaydi (Sadudin Hodzic et. al., 2008; V. Kecojevic et. al., 2010).

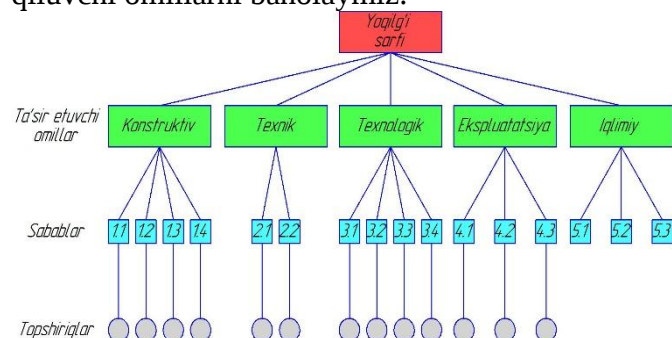
Karyerdagi avtosamosvallarning ekspluatatsion muammolaridan biri dizel yoqilg'isining had-dan tashqari ko'p sarflanishi konchilik korxonalari uchun moddiy yo'qotishlarga olib keladi. Ushbu

ko'rsatkich avtosamosvallarning ishlashini rejalashtirishga va ularning samaradorligini baholashga sezilarli ta'sir ko'rsatadi (S. Masic et. al., 2005; Kurganov V.M. et. al., 2020; Kuznetsov I.S. et. al., 2021).



1-rasm. Konchilik sanoatlarida qo'llaniladigan avtosamosvallarning dastlabki xaridlari va joriy xarajatlar uchun yuqori narxlar bilan tavsiflanishi.

Yoqilg'i sarfi asosan tonnalarida hamda tonna kilometr uchun grammlarda ifodalanadi. Ushbu muammoni hal qilish uchun biz quyidagi sxema asosida foydalanib, dizel yoqilg'isi sarfiga ta'sir qiluvchi omillarni baholaymiz.



2-rasm. Dizel yoqilg'isi sarfiga ta'sir qiluvchi omillar.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Avtosamosvallarning ishlash samaradorligini oshirish masalari bo'yicha V.I. Novikov, N.S. Zaxarov, V.A. Korchagin, M.A. Kuzminov, R.S. Grigoryev, A.I. Petrov, N.N. Maslov, G.M. Yakovlev, L.G. Reznik, V.S. Volkov va boshqalar o'zlarining ilmiy tadqiqot ishlarida ko'rib chiqilgan [1].

Yoqilg'i sarfini aniqlash va me'yorlashtirish usullari ko'plab institutlar, ilmiy tashkilotlar hamda korxonalar ya'ni Sankt-Peterburg konchilik instituti (texnika universiteti), Rossiya Fanlar akade-

miyasining Ural filiali konchilik instituti, "BelAZ" hamda AJ Navoiy kon – metallurgiya kombinatlari tomonidan ishlab chiqilgan (BelAZ-holding, 2017).

Ilmiy tadqiqotchilar hamda ilmiy tashkilotlar tomonidan agregatlarning ishonchliligini oshirish va ta'mirlash ishlarini tashkil etish masalalari bo'yicha olib borilgan bir qancha fundamental tadqiqotlarga qaramay, karyer avtosamosvallarning samaradorligini oshirishga sezilarli darajada ta'sir etuvchi konstruktiv, texnik va texnologik omillardagi o'zgarishlar e'tiborga olinmay kelingan, bundan tashqari, bir qancha ilmiy izlanishlarda taklif etilgan usullar hamda gipotezalar yuqoridagi keltirilgan muammolarni hal qilishda asos sifatida amaliy qo'llanilmagan (Ali Soofastaei, 2016) [2-3].

Avtosamosvallar uchun yoqilg'i sarfini aniqlashning turli usullarini o'rganish natijasida bizga bir qancha ko'rsatkichlarni aniqlash imkonini beradi, ularning har biri o'ziga xos xususiyatlar bilan ajralib turadi va turli yondashuvlarda samarali qo'llanilishi mumkin.

1-jadval

Yonilg'i sarfiga ta'sir qiluvchi omillarni asoslovchi ko'rsatkichlar

Omilar	Sabablar	Ko'rsatkichlar
Konstruktiv	1.1	Avtosamosvallarning konstruksiyasini mukammallashtirish.
	1.2	Yuk ko'tarishi
	1.3	G'ildiraklarining ko'rsatkichlari
	1.4	Yo'l qoplamalarining konstruksiyalari
Texnik	2.1	Karyerning chuqurligi
	2.2	Tashish kengligi
Texnologik	3.1	Burilish radiusi va soni
	3.2	Qiyalik ko'rsatkichi, %
	3.3	Qiya uchastkalarining uzunligi va ularning soni
	3.4	Yuk ko'tarish qobiliyatidan foydalanish darajasi
Ekspluatatsiya	4.1	Ichki yonuv dvigatelining yedirilish darajasi
	4.2	Katta o'lchamdagi g'ildiraklarining bosimi
	4.3	Haydovchining oqilona boshqarish texnikasi
Iqlimiy	5.1	Atrof muhitdagi havoning harorati
	5.2	Yil fasllarining davriyligi
	5.3	Yog'ingarchilik miqdori

Yuqoridagi omillar avtosamosvallarning texnik parametrlarini batafsil tahlil qilishga asos bo'lib xizmat qiladi. Asosan bu omillarni yechish uchun quyidagi ko'rsatkichlarni ya'ni yuk ko'tarish qobiliyati, dvigatel kuchi, harakatga qarshilik koeffitsientlari va ish siklidan foydalanish kabi ko'rsatkichlarini hisobga olamiz. Ushbu ko'rsatkichlarni hisoblash karyerda qo'llanilib kelina-yotgan avtosamosvallarning yonilg'i sarfini kamay-

tirishga asos bo'lib xizmat qiladi.

1-jadvalda yonilg'i sarfiga ta'sir qiluvchi omillarni asoslovchi sabablar keltirilgan.

Yuqorida keltirilgan yonilg'i sarfiga ta'sir qiluvchi omillarni tahlil qilish natijasida konstruktiv va texnik omillarni baholashdan chiqarib tashlaymiz. Sababi shundan iboratki bu omillarga bevosita ta'sir qila olmaymiz, chunki biz avtosamosvallarning konstruksiyasini, yo'l qoplamalarining konstruksiyasini shuningdek karyer chuqurligini o'zgartira olmaymiz.

Yonilg'i sarfiga ta'sir qiluvchi omillarni baholash davomida texnologik, ekspluatatsion hamda iqlimiy omillarning ta'sirini inobatga olishimiz mumkin va bevosita ularga ta'sir qilishimiz mumkin.

Tadqiqot natijalari. Yoqilg'i sarfini batafsil tahlil qilish va hisoblash har bir avtosamosval uchun uning alohida texnik ko'rsatkichlari va ishlash xususiyatlarini hisobga olgan holda amalga oshiriladi. Shuning uchun meyoriy yoqilg'i sarfini hisoblash quyidagi formula orqali aniqlashimiz mumkin [3,6-7].

$$Q_n = 0.01 \cdot H_n \cdot S \cdot (1 + 0.01 \cdot D) + H_{q,n} \cdot Z$$

Bu yerda Q_n - bu litrda ifodalanadigan meyoriy yoqilg'i sarfining kompleks ko'rsatkichi;

H_n - avtosamosvalning tashish ishlari uchun sarflangan yoqilg'i sarfini ifodalovchi ko'rsatkich;

S - avtosamosvallarning umumiy bosib o'tgan masofasining dinamik ko'rsatkichi, kilometrlarda o'lchanadi.

$H_{q,n}$ - avtosamosvallarning yuk bilan harakatlanish sonini hisobga olgan holda qo'shimcha yoqilg'i sarfini ifodalovchi ko'rsatkich, litrda o'lchanadi;

Z - bir smenada yuk bilan harakatlanish sonini ifodalovchi ko'rsatkich;

D - bu meyorga nisbatan yoqilg'i sarfining umumiy ko'payishini yoki kamayishini aks ettiruvchi tuzatish koeffitsiyenti, foizlarda ifodalanadi.

Yuqoridagi formuladan kelib chiqqan holda H_n avtosamosvalning tashish ishlari uchun sarflangan yoqilg'i sarfini quyidagicha aniqlashimiz mumkin.

$$H_n = H_t + H_{q,m} \cdot (G_{a,m} + 0.5 \cdot q), l/100 km$$

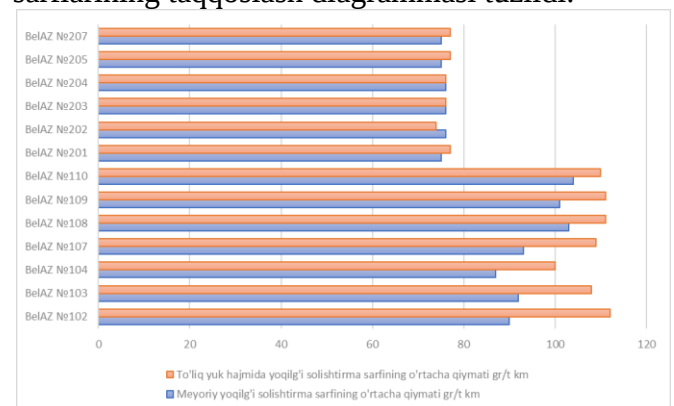
Bu yerda H_t -yuk koeffitsienti 0,5 bo'lgan holda avtosamosvallarning tashish ishlari uchun sarflangan meyoriy yoqilg'i sarfining ko'rsatkichi;

$H_{q,m}$ - avtosamosvalning qo'shimcha masasini hisobga olgan holda tashish ishlari uchun sarflangan yoqilg'i sarfining ko'rsatkichi;

$G_{a,m}$ - avtosamosvalning og'irligi;

q - avtosamosvalning yuk ko'tarish qobiliyati.

Yuqoridagi formulalardan kelib chiqqan holda avtosamosvallarning to'liq yuk hajmida yoqilg'i sarfini tahlil qilish davomida 2024-yil yanvar oyidan 2025-yil fevral oyigacha bo'lgan ma'lumotlardan foydalandik. Hisob kitob qilish natijasida 3-rasmda avtosamosvallarning to'liq va o'rtacha yuk hajmga ega bo'lgandagi yoqilg'i sarflarining taqqoslash diagrammasi tuzildi.



3-rasm. Avtosamosvallarning to'liq va o'rtacha yuk hajmga ega bo'lgandagi yoqilg'i sarflarining taqqoslash diagrammasi.

Yuqoridagi diagrammani tahlil qilgan holda quyidagicha xulosa qilishimiz mumkin BelAZ 7513 rusumli avtosamosvallari uchun dizel yoqilg'isining sarfi meyordan ko'ra o'rtacha qiymati 13.5% ga, maksimal qiymati 23.9% ga va minimal qiymatlari 6.3% ga mos ravishda oshganligini ko'rishimiz mumkin. BelAZ 75310 rusumli avtosamosvallari uchun dizel yoqilg'isining sarfi me'yorga rioya qilish bo'yicha eng yaxshi ko'rsatkichlarni BelAZ №202, BelAZ №203, BelAZ №204 ko'rsatdi, ammo BelAZ №201, BelAZ №205, BelAZ №207 lari uchun dizel yoqilg'isining sarfi meyordan ko'ra mos ravishda 1%, 0.9% va 1.03% ga oshganligini ko'rishimiz mumkin [6-8].

Muhokama. Bundan ko'rinib turibdiki avtosamosvallarda yoqilg'i sarfini optimallashtirish ekspluatatsiya xarajatlarini minimallashtirishga hamda umumiy samaradorlikni oshirishga yordam beradi. Ushbu maqolada yoqilg'i sarfini sezilarli darajada kamaytirishga yordam beradigan bir nechta amaliy tavsiyalar ko'rib chiqilgan:

Avtosamosvallarga muntazam texnik xizmat ko'rsatish va sozlash. Bu asosan ichki yonuv dvigatellariga xizmat ko'rsatishdan iborat bo'lib, dvigatelni, yonilg'i ta'minot tizimini va o't oldirish tizimini to'g'ri sozlash yordamida yoqilg'i sarfini optimallashtirishga erishish mumkin [10-11].

Avtosamosval g'ildiraklarining bosimini nazorat qilish. G'ildiraklardagi samarali bosimni ushlab turish aylanish qarshiligini va shunga mos ravishda yoqilg'i sarfini kamaytiradi.

Yuklarni samarali yuklash va taqsimlash. Yukni avtosamosval kuzoviga ruxsat etilgan yuk ko'tarish qobiliyati doirasida bir tekis taqsimlash ichki yonuv dvigatelga tushadigan yuklamani hamda yoqilg'i sarfini kamaytiradi.

To'xtalishlar davomida avtosamosval dvigatelini o'chirib qo'yish. Bir joyda uzoq vaqt kutib turganda, ortiqcha yoqilg'i sarfini oldini olish uchun dvigatelni o'chirib qo'yish tavsiya etiladi.

Yuqori sifatli yoqilg'idan foydalanish. Yonish jarayonini yaxshilaydigan va iste'molni

kamaytiradigan qo'shimchalar bilan yuqori sifatli yoqilg'idan foydalanish yoqilg'i sarfini kamaytiradi.

Haydovchilarni malakasini oshirish. Haydovchilarni samarali haydash texnikasi, jumladan, ravon tezlanish olish hamda tormozlash, bir maromda samarali tezlikni saqlash bo'yicha muntazam mashg'ulotlar olib boorish natijasida yoqilg'i sarfini kamaytirishga va avtosamosvalning umumiy ish faoliyatini yaxshilashga yordam beradi [11].

Xulosa. Xulosa qilib aytadigan bo'lsak yuqoridagi tavsiyalarga rioya qilish avtosamosvallarda yoqilg'i sarfini sezilarli darajada kamaytirish mumkin, buning natijasida esa xarajatlarni kamaytirishga va ish samaradorligini oshirishga olib kelamiz. Muntazam texnik xizmat ko'rsatish, g'ildiraklarning bosimini nazorat qilish, yuklarni samarali yuklash va taqsimlash, sifatli yoqilg'idan foydalanish va haydovchilarni malakasini oshirish yoqilg'i sarfini kamaytirishning asosiy omillaridan biri hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Makhutov, N. A., & Gadenin, M. M. (2000). Durability, resource and safety of machines and structures. Moscow: IMASH RAS.
2. Hodžić, S., & Masić, S. (2005). Collection of solved problems from continuous transport in mining. Faculty of Mining, Geology and Civil Engineering, University of Tuzla. (In Serbian).
3. Hodžić, S., & Masić, S. (2008). Cyclic transport. Faculty of Mining, Geology and Civil Engineering, University of Tuzla. (In Serbian).
4. Kecojević, V., & Komljenović, D. (2010). Haul truck fuel consumption and CO₂ emission under various engine load conditions. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/261214668_Haul_truck_fuel_consumption_and_CO2_emission_under_various_engine_load_conditions
5. Ossetrova, I. S., & Ossipov, N. A. (2013). Microsoft Excel 2010 for analysts. Saint-Petersburg: NIU ITMO.
6. Soofastaei, A. (2016). Efficiency of haul trucks in surface mines (PhD project). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18587.67365>
7. BELAZ-HOLDING. (2017). BelAZ-7530 series mining dump trucks. BelAZ 75306 - 3902015 RE Operating manual. Republic of Belarus.
8. Azikhanov, S. S., Bogomolov, A. R., Dubov, G. M., & Nikhrin, S. (2019). Development of the instrumentation system for gas-and-diesel fuelled BelAZ dump truck. MATEC Web of Conferences, 297, 03001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929703001>
9. Dubov, G. M., Trukhmanov, D. S., Nokhrin, S. A., & Sergel, A. (2020). Method for installing cryogenic fuel tanks on the deck of BelAZ 7513 mining dump truck. E3S Web of Conferences, 174, 03016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017403016>
10. Dubov, G. M., Trukhmanov, D. S., & Nokhrin, S. A. (2020). The use of alternative fuel for heavy-duty dump trucks as a way to reduce the anthropogenic impact on the environment. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 459, 042059. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/4/042059>

11. Kurganov, V. M., Gryaznov, M. V., & Kolobanov, S. V. (2020). Assessment of operational reliability of quarry excavator-dump truck complexes. *Journal of Mining Institute*, 241, 10–21. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.1.10>
12. Kuznetsov, I. S., Sinoviev, V. V., & Kuznetsova, A. V. (2021). Increase of accuracy and reliability of cumulative distribution functions identification of timing data for cave-auto complex simulation. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 3(145), 113–119.
13. Polozov, D. I. (2021). Reducing fuel consumption and increasing the productivity of BelAZ dump trucks at Vostochno-Baysky Razrez LLC, Kirba village (Bachelor's thesis). SFU, KHTI – branch of SFU, Abakan.
14. Oleynikov, A. V. (2021). Organization of freight transportation: A course of lectures. Siberian Federal University, KHTI branch.
15. Gorina, L. N., & Fesina, M. I. (2021). Safety and environmental friendliness of a technical facility (2nd ed., Suppl.). Tolyatti: TSU Publishing House.
16. Jamaković, J., & Masić, S. (2021). Fuel consumption of the BelAZ dump trucks on an example of the open pit "Turiya" of the brown coal mine Banovići. *Mining and Metallurgy Engineering Bor*, (3), 37–46. ISSN 2406-1395.
17. Makhmudov, S. A., Kayumov, U. E., & Pardayeva, Sh. S. (2022). Excavator bucket design and analysis in ANSYS. *Universum: Technical Sciences*, 5(98), 53–58.
18. Jamaković, J., & Masić, S. (2022). Carbon dioxide emission of a BelAZ dump truck on an example of the open pit "Turiya" brown coal mine Banovići. *Mining and Metallurgy Engineering Bor*. ISSN 2406-1395.

UO‘K: 669.24:669.056.9(575.1)

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.26

PLATINOIDLARNI QAYTA ISHLASHDAN HOSIL BO‘LGAN CHIQINDILARIDAN PLATINA VA PALLADIYNI AJRATIB OLISH TEXNOLOGIYASINI TADQIQ QILISH



**Turdiyev Shahboz
Sherammat o'g'li**

(DSc), Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O'zbekiston
E-mail: shahboz01011991@mail.ru



**G'aniyev Barkamol
Eshdavlat o'g'li**

Magistr, Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O'zbekiston
E-mail: perfection.2001.02.07@gmail.com



**Boboxonov Abbas
Ruslanovich**

Talaba, Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O'zbekiston
E-mail: abbos_01011991@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu maqolada “Olmaliq KMK” AJ kon-metallurgiya majmuasida platinoidlar ishlab chiqarishidan hosil bo‘lgan texnogen chiqindilardan palladiy va platinani ajratib olishning laboratoriya asosidagi kompleks texnologiyasi tadqiq etildi. Jarayon zanjiri quyidagicha optimallashtirildi: tiokarbamid eritmasi bilan Pd-kompleksni cho‘ktirish (70–90 g/l, 25–30 daq, $E=94-96\%$), cho‘kmani 550–600°C da termik parchalatish, so‘ng shoh arog‘ida eritish (100 g mahsulotga ~2 l, 1–2 soat). Eritmadan platinani selektiv cho‘ktirish uchun NH_4Cl qo‘llanildi ($(NH_4)_2[PtCl_6]$), palladiy esa eritmada saqlanib qoldi. Pd-eritmasi ammiak bilan $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ ko‘rinishiga o‘tkazilib, HCl muhitida XPZ – $[Pd(NH_3)_2Cl_2]$ cho‘kmaga aylantirildi; yakunda gidrazin (zaruratda chumoli kislotaga) bilan metall Pd gacha qaytarildi. Taklif etilgan oqim sxemasi 17 ta operatsiyadan iborat bo‘lib, umumiy davomiylik 24–26 soatni tashkil etdi; palladiy ajralish darajasi 55% dan 84% gacha oshirildi, yakuniy Pd kukuni tozaligi 99,5–99,94% ga yetdi. Texnologiya reagent sarfi va energiya iste‘moli bo‘yicha iqtisodiy samarali hamda chiqindi maydonlaridagi ekologik yukni kamaytirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: texnogen chiqindi, palladiy, platina, tiokarbamid bilan cho‘ktirish, shoh arog‘ida eritish, kuydirish (kaltsinatsiya), gidrazin bilan qaytarish, ammiakli komplekslar, XPZ ($[Pd(NH_3)_2Cl_2]$), selektiv cho‘kma, affinaj, “Olmaliq KMK”.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПЛАТИНЫ И ПАЛЛАДИЯ ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАТИНОИДОВ

**Турдиев Шахбоз
Шермамат угли**

(DSc), Қаршинский
государственный технический
университет,
Қарши, Узбекистан

**Ганиев Баркамол
Эшдавлат угли**

Магистр, Қаршинский
государственный технический
университет,
Қарши, Узбекистан

**Бобохонов Аббос
Русланович**

Студент, Қаршинский
государственный технический
университет,
Қарши, Узбекистан

Аннотация. В статье исследована лабораторно-технологическая схема извлечения палладия и платины из техногенных отходов, образующихся в условиях АО «Алмалыкский ГМК». Последовательность операций оптимизирована: осаждение палладиевого комплекса тиокарбамидом (70–90 г/л, 25–30 мин, $E=94-96\%$), термическое разложение осадка при 550–600°C, последующее выщелачивание «царской водкой» (~2 л на 100 г продукта, 1–2 ч). Платина

селективно осаждается хлоридом аммония в виде $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$, палладий остается в растворе, затем переводится в аммиачный комплекс $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ и осаждается как ХПЗ-комплекс $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$; завершающая стадия — восстановление гидразином (при необходимости муравьиной кислотой) до металлического Pd. Предложенная схема (17 операций, 24–26 ч) повышает степень извлечения Pd с 55% до 84%; чистота конечного порошка палладия достигает 99,5–99,94%. Технология экономична по реагентам и энергии и снижает экологическую нагрузку на карты складирования отходов.

Ключевые слова: техногенные отходы, палладий, платина, тиокарбамид, выщелачивание «царской водкой», кальцинация, восстановление гидразином, аммиачные комплексы, $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ (ХПЗ), селективное осаждение, аффинаж, АГМК.

STUDY OF THE TECHNOLOGY FOR EXTRACTING PLATINUM AND PALLADIUM FROM WASTE FROM PLATINOID PROCESSING

**Turdiyev Shahboz
Shermamat ugli**

(DSc), Karshi State Technical
University,
Karshi, Uzbekistan

**Ganiev Barkamol
Eshdavlat ugli**

Master, Karshi State Technical
University,
Karshi, Uzbekistan

**Boboxonov Abbos
Ruslanovich**

Student, Karshi State Technical
University
Karshi, Uzbekistan

Abstract. This paper presents a laboratory-scale process for recovering palladium and platinum from technogenic wastes generated at Almalyk MMC. The flowsheet was optimized as follows: thiourea precipitation of a Pd complex (70–90 g/L, 25–30 min, $E=94\text{--}96\%$), thermal decomposition of the precipitate at 550–600°C, followed by aqua-regia leaching (≈ 2 L per 100 g product, 1–2 h). Platinum is selectively precipitated with ammonium chloride as $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$, while Pd remains in solution, is converted to the ammoniacal complex $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$, then precipitated as the dichlorodiammine complex $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$; final reduction to metallic Pd is carried out with hydrazine (optionally formic acid). The proposed 17-step, 24–26 h scheme increases Pd recovery from 55% to 84%, delivering refined Pd powder of 99.5–99.94% purity. The technology is reagent- and energy-efficient and mitigates environmental burden at waste storage sites.

Keywords: technogenic waste, palladium, platinum, thiourea precipitation, aqua-regia leaching, calcination, hydrazine reduction, ammoniacal complexes, $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$, selective precipitation, refining, Almalyk MMC.

Kirish. Hozirgi vaqtda jahon kon-metallurgiya sanoatida yillar davomida to'plangan sanoat chiqindilarini qayta ishlashga yo'naltirilgan barqaror tendensiya kuzatilmoqda. Bunga sabab — yuqori tarkibli, oson qayta ishlanadigan rudalar zaxiralari ko'plab konlarda deyarli tugab borayotgani. Natijada konditsion rudalarni qayta ishlash hajmi qisqarib, sanoat chiqindilari, qiyin boyitiluvchi rudalar hamda balansdan tashqari past navli rudalar/chiqindilarni qayta ishlashga jalb etish zarurati yuzaga keldi.

Eksperimentlar metodikasi. Palladiy–tiokarbamid kompleksini cho'ktirish jarayoni 15–30 daqiqa davomida aralashtirgichli titan reaktorda amalga oshiriladi. Cho'kma hosil bo'lgach, u filtrdan o'tkaziladi, $\text{pH}\approx 5$ bo'lguncha distillangan

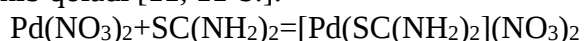
suv bilan yuviladi, vakuum ostida quritiladi va maydalanadi; so'ng termik parchalanish orqali qimmatbaho metallar yuzasi "ochiladi". Palladiyli kompleksning termal parchalanishi bo'yicha tajribalar SNOL markali mufel laboratoriya pechida o'tkazildi. Ishning maqsadi: mahsulotni to'liq parchalatish, zarracha yuzalarini ochish hamda gaz fazasining harorati va tarkibining parchalanish xarakteriga ta'sirini o'rganishdan iborat. Termik ishlovdan keyin olingan mahsulot yanchish qurilmasida maydalanadi. Keyin palladiyli mahsulot titan reaktorda gidrazin eritmasi bilan ishlanadi: eritma 60–80 °C gacha qizdirilib, 2–4 soat davomida gidrazin bilan aralashtiriladi, metall palladiy cho'kmasi ajratib olinadi va eritmada qolgan palladiy konsentratsiyasi tahlil qilinadi.

Qaytarilish jarayoni tugagach, oraliq palladiy mahsuloti gidrazin qoldiqlarini yo'qotish uchun distillangan suv bilan puxta yuviladi va 100–110°C da quritiladi [8, 167-b.].

Palladiy va platinaning eruvchanligi jarayon davomiyligi hamda shoh suvi (aqua regia) sarfiga qanday bog'liqligini aniqlash tajribalari quyidagicha bajarildi: quritilgan palladiy mahsuloti kichik fraksiyalarga bo'linib, $V=0,05 \text{ m}^3$ hajmli qizdirilgan idishga solindi; idishda oldindan nitrat va xlorid kislotalar aralashmasi tayyorlab qo'yildi. Shoh suvi sarfi – 100 g palladiy kukuniga 2 l. Eritish doimiy qizdirish sharoitida 1–2 soat davom ettirildi.

Tadqiqot natijalari va ularning tahlili. Palladiy eritmalardan ajratishning bir necha usuli ma'lum. Jumladan, cho'ktirish jarayonida xlorid, ftorid, tiokarbamid yoki rodanid tipidagi eritmalardan foydalaniladi. Metall palladiy nitrat kislota eritmalarida oson eriydi; shuning uchun uni bunday eritmalardan metall shaklida cho'ktirish orqali ajratib olish jiddiy qiyinchiliklar tug'diradi [10, 55-b.].

Tadqiqotlar ko'rsatishicha, tiokarbamid eritmasi palladiy va platina guruhi metallari (PGM)ni cho'ktirish uchun optimal reagentdir. Tajribalarda aniqlangandek, tiokarbamid eritmasi bilan o'zaro ta'sirlashganda nodir metallar cho'kma hosil qiladi, faolligi yuqori bo'lgan rangli metallar esa erib eritma fazasiga o'tadi; natijada asosiy qimmatbaho komponentlar cho'kma tarkibida saqlanib qoladi [11, 11-b.]:



Tarkibida palladiy miqdori har xil bo'lgan eritmalardan tiokarbamid eritmasi bilan palladiy cho'ktirish bo'yicha tadqiqot natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, palladiy va platinaning cho'ktirish jarayoniga metallar konsentratsiyasi, tiokarbamid eritmasining konsentratsiyasi hamda jarayon davomiyligi sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Tiokarbamid eritmasining 70–90 g/l atrofida yuqori konsentratsiyasi palladiy va boshqa qimmatli komponentlarning 98–99% gacha to'liq cho'kishiga xizmat qiladi. Metallarni cho'ktirishning optimal rejimlari quyidagicha: $t=25\text{--}30$ daqiqa; tiokarbamid sarfi — 2–6 kg/kg; ajralish samaradorligi $E=96\text{--}98\%$.

Laboratoriya tadqiqotlari natijalariga ko'ra, hosil bo'lgan palladiy–tiokarbamid kompleksida

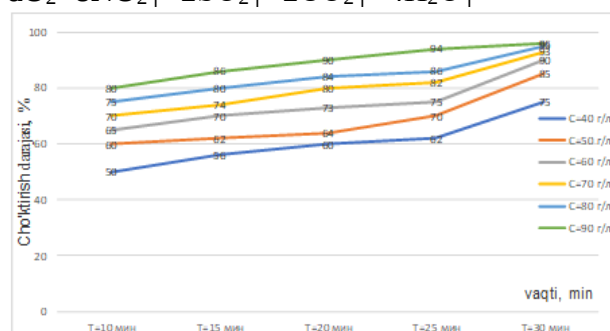
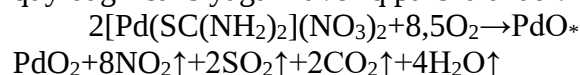
palladiy miqdori 1500–2000 g gacha ko'tarilib, metallning boyish darajasi 100 martaga yetadi [12, 35-b.]. Egri chiziqlar grafigidan (1-rasm) ko'rinishicha, tiokarbamid eritmasining 70–90 g/l konsentratsiyasida palladiyning eng yuqori cho'kish darajasi – 94–96% ga erishiladi. Optimal cho'kish vaqti 25–30 daqiqa.

1-jadval

Palladiy miqdori turlicha bo'lgan eritmalardan tiokarbamid eritmasi bilan palladiy cho'ktirish bo'yicha tadqiqotlar natijalari

№	Eritmadagi Pd miqdori, mg/l	Tiokarbamid (tiomachevina) sarfi, gr	Qolgan qoldiq eritmadagi Pd miqdori, mg/l	Cho'kmaga tushgan Pd miqdori, %	Pd cho'kmaga ajralish darajasi (E), %
1	50	2	5,2–11,5	8,15	78,12
2	50	3	5,4–9,5	8,41	81,27
3	75	4	10,7–14,3	12,78	82,15
4	75	4,3	10,1–12,25	13,56	83,67
5	87	5	10,3–13,5	18,51	86,73
6	87	5,3	8,7–9,94	20,69	88,92
7	105	6	8,5–12,6	20,99	91,33
8	105	6,2	7,9–51	21,52	92,75
9	127	7	4,13–7,67	22,45	94,63
10	127	7,5	4,25–5,71	27,27	96,05

Palladiy – tiokarbamid kompleksi avval pechga yuklanib 300°C da quritiladi, so'ng 500–600°C harorat oralig'ida termik parchalanish boshlanadi; jarayon davomiyligi 3–4 soatni tashkil etadi. Termik parchalanish jarayonida palladiy cho'kmasi quyidagi reaksiyaga muvofiq parchalanadi:



1-rasm. Qimmatbaho komponent cho'ktirish darajasining jarayon davomiyligiga va tiokarbamid eritmasining konsentratsiyasiga bog'liqligi.

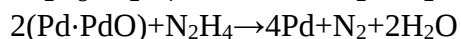
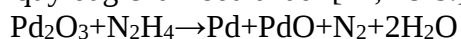
Termik parchalanish bo'yicha o'tkazilgan tadqiqotlar palladiyning shoh arog'ida keyingi eruvchanlik darajasi parchalanish rejimlariga bog'liq ekanini ko'rsatdi. Ushbu bog'liqlik 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval
**Kuydirish haroratining $t=300-600^{\circ}\text{C}$ palladiyning
shoh arog'i eritmasida erish darajasiga
bog'liqligini o'rganish natijalari**

№	Kuydirish harorati, T, °C	Kuydirishdan keyingi kuyindi massasi, (boshlang'ich namuna massasi 50 gr), gr	Pd ning shoh arog'ida eruvchanligi, %
1	300	43	70,25
2	300	42	71,43
3	350	41	73,78
4	350	40	72,52
5	400	40	80,19
6	400	39	81,56
7	450	37	84,57
8	450	35	85,11
9	500	27	88,78
10	525	26	89,23
11	550	25	94,27
12	550	24	96,63
13	600	25	95,34
14	600	25	95,21

2-jadvaldan ko'rinib turibdiki, palladiyning eruvchanligi 600°C da kuydirilganda 95,34% ga yetadi. Buning sababi – yuqori haroratda kuydirish palladiy kompleksini to'liq metall holatga parchalab, zarracha yuzasini ochadi va natijada shoh arog'ida (aqua regia) eritilish darajasini oshiradi. Tajribalar shuni ko'rsatdiki, 550°C dan past haroratlarda o'tkazilgan termik parchalanish keyingi eritish bosqichida eruvchanlikni pasaytiradi: parchalanish chog'ida hosil bo'lgan palladiy qayta oksidlanib, eritish vaqtida eruvchanlikning kamayishiga olib keladi. Shu asosda palladiy saqllovchi mahsulot uchun optimal kuydirish harorati $550-600^{\circ}\text{C}$ diapazoni deb qabul qilindi.

Adabiyotlar tahlili ko'rsatadiki, reagent sarfi kam, arzon va PdO ning yuqori darajada qaytarilishini gidrazin eritmasi ta'minlaydi. Taklif etilgan texnologiya laboratoriya va kengaytirilgan laboratoriya sharoitlarida sinovdan o'tkazildi; jarayon 2–4 soat davom etdi. Dastlabki va yakuniy mahsulotlarning tahlili palladiyning to'liq qaytarilishini tasdiqladi. Cho'kmaning qaytarilish reaksiyasi quyidagicha ifodalanadi [12, 18-b.]:



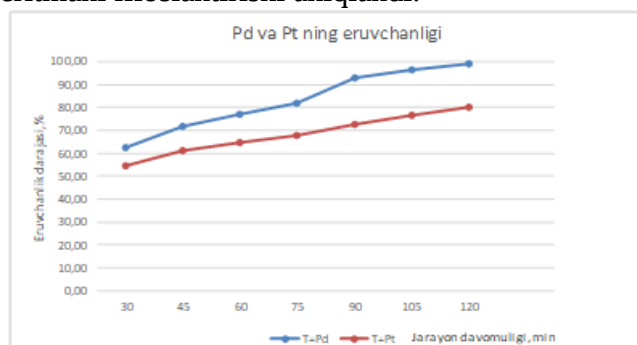
Palladiy tiklash jarayoni tugagach, oraliq mahsulot gidrazin qoldiqlarini chiqarib tashlash uchun distillangan suv bilan yaxshilab yuviladi va $100-110^{\circ}\text{C}$ haroratda quritishga qo'yiladi. Keyin laboratoriya mufel pechida namlikdan xoli qilinib, keyingi bosqichlarga tayyorlanadi.

Mavjud texnologiyaga ko'ra, palladiy bir necha marotaba nitrat kislotada eritiladi. Biroq bu usul o'zini oqlamadi: palladiy ajratib olish darajasini sezilarli oshirish shoh arog'i (aqua regia)da eritish bosqichisiz imkoni yo'qligi aniqlandi. O'tkazilgan tajriba-sinovlar asosida yangi texnologik sxema ishlab chiqildi (3-rasmga qarang) va natijada platina hamda palladiyning eritmaga o'tish (eruvchanlik) darajasi hamda umumiy ajratib olish ko'rsatkichi keskin oshirildi.

Tajribalarga ko'ra, eritish vaqti uzaygan sari metallar eruvchanligi ortadi, chunki palladiy va platinaning shoh arog'ida eritilishi jarayon kinetikasiga bog'liq. 2-rasmdan ko'rinadiki, palladiyning eritmaga o'tish darajasi platinanikiga nisbatan yuqoriroq. Bu palladiyning umumiy tiklanish (reduksiya) darajasi yuqoriligi bilan izohlanadi. Eruvchanlikka kuchli ta'sir qiluvchi omillar — shoh arog'i eritmasining konsentratsiyasi va sarfi.

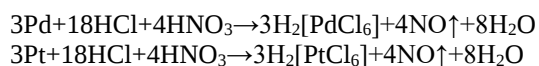
Eksperimental ravishda aniqlandiki, eritish vaqti ortganda reagent sarfi ham ortadi; buning natijasida eritmadagi palladiy konsentratsiyasi ko'payadi. Jarayon davomiyligi 120 minut bo'lganda sarf 200 g/dm^3 ga yetadi va 100 g palladiy mahsuloti uchun 2 l reaktiv ishlatiladi.

Olingan natijalar asosida palladiy mahsulotini eritishning optimal rejimlari belgilandi. 2-rasm egri chiziqlari platinoid guruhidagi metallar, xususan platina va palladiy eruvchanligining ortishini ko'rsatadi. Shu bilan birga, toblangan mahsulot tarkibidagi qo'shimcha metallar ham (masalan, Fe, Cu, Ni, Au, Ag) eritmada ma'lum miqdorda erib, eritmani ifloslantirishi aniqlandi.



2-rasm. Jarayon davomiyligi va shoh arog'i eritmasining platina va palladiyning eruvchanligiga bog'liqligi.

Platina va palladiyning shoh arog'i eritmasida erish reaksiyasi quyidagicha:



Qimmatbaho metallar eritmaga o'tgach, mahsulotning erimagan qismi filtrlanib, chiqindi sifatida chiqariladi. Keyingi bosqichda eritmadan platinani tanlab ajratib olish bo'yicha tajribalar o'tkazildi. Buning uchun ammoniy xlorid (NH_4Cl) eritmasi platina cho'ktiruvchisi sifatida tanlandi: u eritmadan platinani selektiv ravishda cho'ktiradi, palladiy esa eritmada qoladi. Eritma mexanik aralashtirgichli reaktorda oz miqdordagi NH_4Cl eritmasi bilan ishlov berildi.

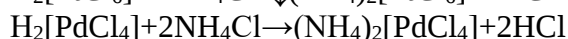
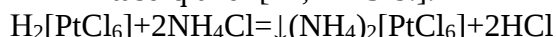
Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, jarayon davomiyligi uzaygan sari ammoniy xlorid sarfi ham, platinaning tanlab cho'kish darajasi ham ortadi. Eksperimental ko'rsatkichlar 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval

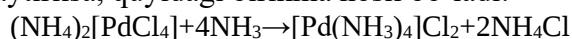
Ammoniy xlorat bilan platina cho'ktirish jarayonining optimal rejimi va davomiyligini aniqlash bo'yicha tajribalar natijalari

№	Cho'ktirish vaqti, min	Ammoniy xlorat sarfi, l	Cho'kmada platina miqdori, %	Platinaning cho'kmaga ajralish darajasi, %
1	30	5	16	68,56
2	60	10	20	72,21
3	90	15	26	76,89
4	120	20	28	80,23
5	150	25	30	86,72
6	160	30	30	86,68

3-jadval ma'lumotlariga ko'ra, cho'ktirish vaqtini 150 daqiqadan ortiq uzaytirish platinaning ajralish darajasini oshirmaydi; shu bois optimal cho'ktirish vaqti 150 daqiqa deb belgilandi. Eng yuqori tiklanishni ta'minlagan reagentning minimal sarfi 25 litrni tashkil etdi. Olingan natijalar sanoat sharoitida joriy etish uchun asos bo'lib, cho'ktirish bosqichida tetraxloropalladiy kislotasi ($\text{H}_2[\text{PdCl}_4]$) eritmada qolishi, cho'kma esa ammoniy geksaxloroplatinat(IV) — $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$ shaklida hosil bo'lishi tasdiqlandi [17, 2125-b.].

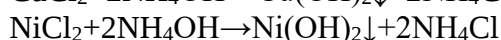
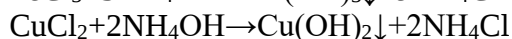
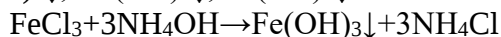


Palladiy eritmasini qo'shimchalardan tozalashning eng maqbul usullarini aniqlash uchun bir qator tajribalar o'tkazildi. Ammiak asta-sekin eritmaga kiritildi. Agar ammoniy gidroksid miqdori ko'paytirilsa, quyidagi birikma hosil bo'ladi:

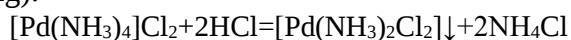


Ammiakli suv palladiyga erituvchi sifatida ta'sir qiladi va shu sababli palladiy eritmaga fazasiga o'tadi. Eritmada ba'zi qo'shimchalar bilan

o'zaro ta'sir qiluvchi ammoniy gidroksid eritmasi zararli metallarni gidroksidlar shaklida suvda erimaydigan cho'kma hosil qilib cho'kadi: $\text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$, $\text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow$, $\text{Ni}(\text{OH})_2 \downarrow$.



Keyinchalik, dixlorodiamminopalladiy (II) (XPZ -palladozoamin)ning cho'kish va kislotali muhitning XPZ ning cho'kishiga ta'siri o'rganildi. Buning uchun maxsus tanlab cho'ktirish texnologiyasi ishlab chiqilgan (3-rasm va formulalarga qarang).



Tajribalar turli konsentratsiyalarda va turli miqdorda xlorid kislotasi eritmasida o'tkazildi. Eksperimental ravishda HCl ning qo'shilgan miqdori ko'p bo'lmashligi kerakligi aniqlandi, chunki hosil bo'lgan kompleks yana eritma fazasiga o'tishi mumkin.



Tajribalar natijalariga ko'ra palladiy xlorid kislotasi eritmasida cho'ktirishning optimal rejimlari aniqlandi: HCl ning sarfi 100 g palladiy kukuniga 1 litr, cho'kma muhiti $\text{pH}=1-2$. Palladiy va platinaning cho'kish maqbul ko'rsatkichlari 4-jadvalda ko'rsatilgan.

4-jadval

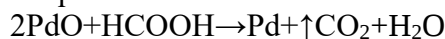
Palladiy cho'ktirishning maqbul omillarini o'rganish tajriba natijalari

№	Cho'tirish vaqti, min	Xlorid kislotasi sarfi 100 gr Pd olish uchun, l	HCl konsentratsiyasi, %	Cho'kmada palladiy miqdori, %	Palladiy ni XPZ ga ajralish darajasi, %
1	10	0,20	30	40	51,8
2	15	0,25	40	50	62,9
3	20	0,50	45	60	71,4
4	25	0,75	50	70	86,7
5	30	1,0	65	80	96,8
6	40	1,25	65	65	80,7

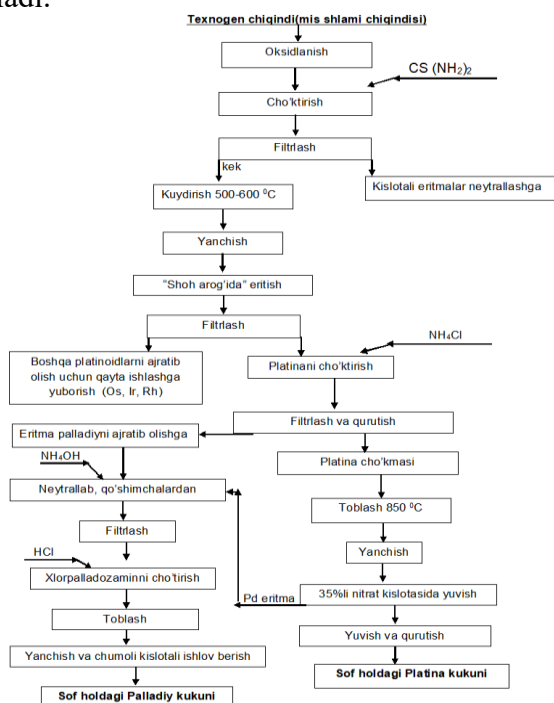
Jadvaldan ko'rinadiki, 100 g palladiy cho'ktirish uchun 1 litr xlorid kislotasi kifoya, optimal jarayon vaqti – 30 daqiqa. Vaqtni bundan orttirish palladiy cho'kish darajasini pasaytiradi va xlorid kislotasi sarfini oshiradi. Palladozoamin ($[\text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$) xlorid kislotasi bilan cho'ktirilganda hosil bo'lgan gidratlar filtrlash orqali ajratiladi; qolgan komplekslar parchalanib, keyingi affinaj bosqichiga xalaqit bermaydi.

Agar jarayon 40 daqiqagacha uzaytirilsa, HCl

sarfi 1,25 litrgacha ko‘payadi; bu sharoitda cho‘kma palladiy asta-sekin yana kislota muhitida qayta eriy boshlaydi. Palladiy oksidini qaytarish uchun esa 100 g Pd kukuniga 200 ml reaktiv sarf bilan chumoli kislota qo‘llaniladi.



Olingan kukun juda oz miqdorda Pb, Sn va boshqa metall aralashmalarini saqlaydi. Uni qo‘shimchalardan tozalash uchun biz kukunni limon kislota bilan qayta ishlaymiz (limon kislotasining iste‘moli 100 g Pd kukuniga 200 ml). Qo‘shimchalardan tozalangandan so‘ng, kukun distillangan suv bilan yuviladi va mahsulot quritiladi. Natijada tozalangan Pd kukuni hosil bo‘ladi.



3-rasm. Texnogen chiqindilardan platina va palladiy metallarini ajratib olishning tavsiya etilgan innovatsion texnologik sxemasi.

Taklif etilayotgan texnologiya jarayonning davomiyligini qisqartirishi aniqlandi, bu amaliyotda katta hajmdagi chiqindini qayta ishlash uchun muhim omil hisoblanadi.

Keng qamrovli tadqiqotlar, jumladan, bir qator tajriba va sinovlar natijasida 17 ta operatsiyadan va umumiy jarayon davomiyligi 24-26 soatdan iborat yangi texnologik sxema ishlab chiqildi (3-rasmga qarang). Bunda palladiyning 1 litrda 50 mg ni tashkil etgan eritmalaridan 84% gacha ajralish darajasi bilan palladiyni maksimal ajratib olish ta'minlandi. Natijada palladiyning massa ulushi 99,5-99,94% holda bo‘lgan tozalangan va affinajlangan palladiy kukuni hosil bo‘ldi (5-jadvalga qarang).

Ishlatilgan elektrolitlarni qayta ishlashning zamonaviy kompleks usullaridan foydalanish natijasida chiqindilar tarkibidan platina va palladiyni to‘liq ajratib olishni oshirishga olib keladi. Texnologiya ekologik nuqtai nazardan ham maqsadga muvofiq bo‘lib, texnogen chiqindilarni qayta ishlash natijasida chiqindilar yig‘ilgan yerlar bo‘shatiladi va atrof muhitga tasiri kamayadi, shuningdek qo‘shimcha qimmatbaho metallarni ajratib olish hisobiga iqtisodiy samaradorlikka erishiladi.

Ushbu texnologiyani joriy etilishi, shubhasiz, platina va palladiyni qo‘shimcha ajratib olinishi hisobiga ijobiy iqtisodiy (7764547682,08 so‘m) samara beradi va sanoat chiqindilari to‘plangan joylarda ekologik vaziyatni yaxshilanishiga olib keladi.

Xulosa. Taklif etilgan texnologiya texnogen elektrolitlardan palladiy va platina guruhidagi metallarni samarali ajratib olishga imkon berdi: aqua regia uchun optimal reagent-parametrlar, selektiv cho‘ktirish va qaytarish (reduksiya)

5-jadval

Affinajlangan palladiy kukunining fizik-kimyoviy tahlil natijalari

Namuna №	Maxsulot nomi	Ulushi, %										
		Pd	Pt	Rh	Ir	Ru	Au	Pb	Fe	Si	Sn	Al
10	Pd kukuni	99,90	0,0036	0,0312	0,0003	0,0038	0,0068	0,0026	0,00119	<0,0001	<0,0001	0,0002
		Ulushi, %										
		Sb	Ag	Mg	Zn	Cu	Ni	Mn	Cr	Co	Ca	
		0,0025	0,0244	0,0003	<0,0001	0,0055	0,0012	0,0001	0,0004	0,0005	0,0006	
Namuna №	Maxsulot nomi	Ulushi, %										
		Pd	Pt	Rh	Ir	Ru	Au	Pb	Fe	Si	Sn	Al
11	Pd kukuni	99,94	0,0022	0,0310	0,0003	0,0039	0,0032	<0,0001	0,0055	<0,0001	<0,0001	0,0003
		Ulushi, %										
		Sb	Ag	Mg	Zn	Cu	Ni	Mn	Cr	Co	Ca	
		0,0022	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0050	0,0012	0,0001	0,0006	0,0005	0,0004	

yoʻllari asosida ishlab chiqilgan yangi texnologik sxema yuqori mahsuldorlik, past energiya sarfi va reagent tejamkorligini taʼminladi. Natijada palladiyning chegaralangan tiklanish darajasi 55% dan 84% gacha oshirildi, yakuniy mahsulot tozaligi 99,9–99,94% ga yetkazildi, platina esa tanlab choʻktirish orqali kamida ikki baravar yuqori

darajada ajratib olindi. Kompleks yondashuv chiqindi oqimlaridan PGMlarni toʻliqroq qaytarish, iqtisodiy samaradorlikni oshirish hamda ekologik yukni kamaytirish imkonini beradi; shuning uchun texnologiyani sanoat miqyosida joriy etish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR ROʻYXATI

1. Маслениский, И. Н., Чугаев, Л. В., Борбат, В. Ф., Никитин, М. В., & Стрыйко, Л. С. (1987). *Металлургия благородных металлов*. Москва: Metallurgiya.
2. Котляр, Ю. А., Меретуков, М. А., & Стрыйко, Л. С. (2005). *Металлургия благородных металлов (Кн. 2)*. Москва: Руда и металл.
3. Xursanov, A. X., Xasanov, A. S., Abdukadirov, A. A., & Voxidov, B. R. (2021). *Tehnologiya platinoidov*. Toshkent: Muharrir.
4. Хурсанов, А. Х., Хасанов, А. С., & Вохидов, Б. Р. (2019). Разработка технологии получения аффинированного палладиевого порошка из отработанных электролитов. *Горный вестник Узбекистана*, 1(76), 58–61. <https://gorniyvestnik.uz/ru/release/2019/1>
5. Хасанов, А. С., & Вохидов, Б. Р. (2019). Современные проблемы и инновационные технологии решения вопросов переработки техногенных месторождений Алмалыкского ГМК. В *Материалах I международной научно-практической конференции* (сс. 122–126). Алмалык, Узбекистан: Мухаррир.
6. Хасанов, А. С., Вохидов, Б. Р., Хамидов, Р. А., Сирождов, Т. Т., Мамараимов, Г. Ф., & Хужамов, У. У. (2019). Исследование повышения степени извлечения и чистоты аффинированного палладиевого порошка из сбросных растворов. *UNIVERSUM: Технические науки*, (9), 20–30. <https://7universum.com/ru/tech/archive/category/966>
7. Хасанов, А. С., Вохидов, Б. Р., Рустанов, С. У., Норов, Г. М., Баракаев, А. М., Тошимов, Б. Н., & Туробов, Ш. Н. (2019). Исследование технологии извлечения палладия из отработанных электролитов. *Достижения науки и образования*, 7(48), 5–7. Иваново, РФ.
8. Борбат, В. Ф. (1977). *Металлургия платиновых металлов*. Москва: Metallurgiya.
9. Xursanov, A. X., Xasanov, A. S., Abdukadirov, A. A., & Voxidov, B. R. (2020). *Platinoidlar texnologiyasi*. Toshkent: Muharrir.
10. Vokhidov, B. R. (2019, June 10–11). Nauchnoe obosnovanie tekhnologii polucheniya chistogo poroshka palladiya iz tekhnogennykh elektrolitov. In *International scientific review of the technical sciences, mathematics and computer science* (pp. 55–62). Boston, USA.
11. Хурсанов, А. Х., Хасанов, А. С., Абдукадилов, А. А., Усманкулов, О. Н., Вохидов, Б. Р., Аскарлов, Б. М., Умаралиев, И. С., & Абдуваитов, Д. С. (2019). Способ извлечения аффинированного палладиевого порошка из отработанных электролитов (Заявка на патент № IAP 20190183; приоритет от 30.04.2019).
12. Шарипов, Х. Т., Борбат, В. Ф., Даминова, Ш. Ш., & Кадилова, З. Ч. (2018). *Химия и технология платиновых металлов*. Ташкент: Университет.

УДК: 622.765:553.493(575.1)

 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.27

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ РУД



Мамаисакова Зебо Баходир кизи

Базовый докторант, Алмалыкский филиал НИТУ «МИСИС», Алмалык, Узбекистан
E-mail: mamaisakovazebo@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается разработка эффективной технологии обогащения медно-порфировых руд в Узбекистане с учётом местных условий. Приведена минерально-химическая характеристика руд месторождений «Кальмакыр», «Сары-Чеку» и «Ёшлик», описаны теоретические основы и экспериментальные исследования флотации и гравитационного обогащения. Предложена схема коллективной флотации с последующей доочисткой, сочетающая флотометаллургические и термодинамические методы. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности разработанной схемы по сравнению с существующими технологиями.

Ключевые слова: медь, медно-порфировые руды, обогащение, флотация, термодинамический анализ, Кальмакыр, Сары-Чеку, Ёшлик, технологическая схема.

MIS-PORFIRLI RUDALARNI BOYITISHNING SAMARALI TEKNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH

Mamaisaqova Zebo Bahodir qizi

Tayanch doktorant, NITU "MISIS" Olmaliq filiali, Olmaliq, O'zbekiston

Annotatsiya. Maqolada O'zbekistonda mahalliy sharoitlarni hisobga olgan holda mis-porfir rudalarini boyitishning samarali texnologiyasini ishlab chiqish ko'rib chiqilgan. "Qalmoqir", "Sariq-Cho'qqi" va "Yoshlik" konlari rudalarining mineral-kimyoviy tavsifi keltirilgan, flotatsiya va gravitatsion boyitishning nazariy asoslari va eksperimental tadqiqotlari bayon etilgan. Flotometallurgik va termodinamik usullarni birlashtirgan, keyinchalik qo'shimcha tozalash bilan kollektiv flotatsiya sxemasi taklif etilgan. Olingan natijalar ishlab chiqilgan sxemaning mavjud texnologiyalarga nisbatan samaradorligidan dalolat beradi.

Kalit so'zlar: mis, mis-porfir rudalari, boyitish, flotatsiya, termodinamik tahlil, Qalmoqqir, Sariq-Cho'qqi, Yoshlik, texnologik sxema.

DEVELOPMENT OF AN EFFICIENT TECHNOLOGY FOR COPPER PORPHYRY ORE BENEFICIATION

Mamaisakova Zebo Bahodir kizi

Basic doctoral student, Almalyk branch of NITU "MISIS", Almalyk, Uzbekistan

Abstract. This article discusses the development of an effective beneficiation technology for copper-porphyry ores in Uzbekistan, taking into account local conditions. It provides a mineralogical and chemical characterization of ores from the Kalmakyr, Sary-Cheku and Yoshlik deposits, describes the theoretical basis and experimental studies of flotation and gravity beneficiation methods. A collective flotation scheme with subsequent refining, integrating flotometallurgical and thermodynamic methods, is proposed. The results obtained demonstrate the efficiency of the developed scheme compared to existing technologies.

Keywords: copper, copper-porphyry ores, beneficiation, flotation, thermodynamic analysis, Kalmakyr, Sary-Cheku, Yoshlik, technological scheme.

Введение. Медь – стратегически важный цветной металл, широко используемый в электротехнике, строительстве и других отраслях. В Узбекистане единственным производителем меди является «Алмалыкский ГМК», сырьевой базой которого служат месторождения медно-порфировых руд Кальмакыр, Сары-Чеку и Ёшлик. Совокупные запасы этих месторождений оцениваются примерно в 17 млн т меди, при этом извлечено лишь около 20 % этих запасов. С учётом растущего спроса и государственного плана по увеличению добычи меди (до 400 тыс. т в год к 2030 г.) актуальной является задача разработки более эффективных технологий обогащения, учитывающих особенности узбекских руд. В данной работе проведён анализ текущих методов обогащения медно-молибденовых руд, выполнены теоретические расчёты и лабораторные испытания, а также предложена оптимизированная технологическая схема, адаптированная под местные условия.

Основные области применения меди в промышленности. Медь обладает высокой электропроводностью и коррозионной стойкостью, поэтому её наибольшее потребление приходится на электротехнику и электроэнергетику. Значительная часть меди идёт на производство проводов, кабелей и трансформаторов, а также на компоненты возобновляемой энергетики (ветро- и солнечные установки). Около 46 % мирового потребления меди приходится на строительные нужды. Значимые объёмы меди используются в машиностроении (двигатели, генераторы), транспортном машиностроении (автомобили, железнодорожная электрификация) и производстве электроники. Для оценки областей применения меди можно ориентироваться на

отчёты «Copper Development Association» – доля меди в зданиях оценивается свыше 46 %, что отражает её ключевую роль в инфраструктуре (рисунки 1) [1].

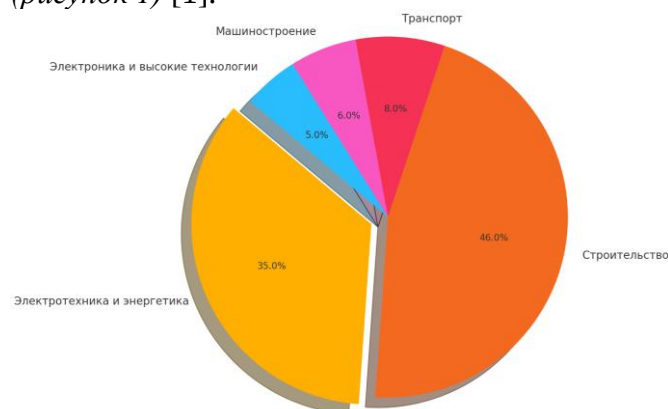


Рис.1. Роль меди в энергетике и высокотехнологичных отраслях.

Обоснование необходимости исследования. Существующие мощности узбекских обогатительных фабрик испытывают ограничение по извлечению меди из бедных порфировых руд. В частности, по данным АО «АГМК», текущая выемка меди составляет лишь 20% от общего объёма запасов. При этом заводы переориентированы на коллективную флотацию с отделением концентратов меди и молибдена, но существуют потери металла в отвальных хвостах. Принят план развития медного кластера, предполагающий к 2030 г. наращивание добычи до 400 тыс. т с обработкой 80% руды на месте. Решение этой задачи требует более эффективного обогащения низкосортных порфировых руд. В ряде других стран для сходных руд разработаны комбинированные схемы (флотация с предварительным обжигом или кислотным выщелачиванием), однако в условиях Узбекистана с его специфическим сырьём (сульфидная фаза

Cu–Mo с включением Au, Ag) необходимо учитывать локальные особенности минералогии и компоновку технологических звеньев. Настоящее исследование направлено на создание адаптированной технологии, позволяющей повысить извлечение меди и комплексное использование ценных компонентов руды [2, 3].

Теоретическая и экспериментальная основа исследования. Обогащение медно-порфириновых руд базируется на флотации сульфидных минералов меди и молибдена. Для прогноза результатов и оптимизации режимов обычно используют термодинамический анализ распределения поверхностных зарядов и потенциалов минералов, а также модель равновесий химических форм реагентов. В частности, установлено, что флотацию сульфидов меди и пирита ведут в слабощелочной среде (с вводом извести до 1 кг/т), при этом эффективными коллекторными реагентами являются соли ксантогеновых кислот (ксантогенаты) или их смеси с аэрофлотами, а в качестве пенообразователей – сосновое масло и аналогичные углеводородные флотофоры. Лабораторные испытания проводились на образцах руды месторождения Кальмакыр. Исходная руда содержит примерно 0,49 % Cu (соответственно, 4–5 кг меди на тонну руды) и мелкие включения золота ($\approx 0,9$ г/т). Экспериментально определены оптимальные условия: pH флотации около 9, дозировки реагентов (ксантогенаты и «Аэрофлот») порядка сотен граммов на тонну, режимы перемешивания и наполнительной дозы [4].

Методики обогащения. Основным методом обогащения сульфидных медных руд является флотация, тогда как гравитационные методы имеют вспомогательное значение. Гравитационное обогащение (буртование, грохочение, гидросепарация) может использоваться для предварительного обогащения свободной формы минералов (например, крупносернистых конкреций пирита или самородной меди), но в типичных порфириновых рудах медь присутствует в виде мелких вкраплений халькопирита, что ограничивает эффективность гравитации. Флотация ведётся по схеме коллективного концентрата: сначала выделяется об-

щий концентрат меди и железа, затем его доизмельчают и разделяют на медный и молибденовый концентраты. В коллективной флотации поддерживают $pH \leq 7,5$ для одновременной флотации пирита, после чего селективно флотацией (или депрессией) извлекают «чистый» медный концентрат. Комбинированные схемы предполагают введение предварительных стадий – например, обжиг руды с отжигом серы или щелочная селективная активация меди – что повышает извлечение труднофлотируемых минералов. В целом, на основе литературных данных ожидаемые показатели обогащения колеблются в пределах 15–40% Cu в конечном концентрате при общем извлечении металла до 90–95% [5].

Результаты исследований. Лабораторные испытания показали, что при схеме коллективной флотации с последующим доизмельчением концентрата удаётся добиться извлечения меди более 90 %. В таблице 1 приведён химический состав исходной руды (Кальмакыр, проба) по данным анализа. В таблице 2 – пример результатов флотации: при содержании меди в руде около 0,49 % извлечение меди составило ~ 95 %, а содержание меди в окончательном концентрате – порядка 25–30%.

Таблица 1.

Химический состав исходной руды месторождения Кальмакыр

Компонент	Содержание
Cu (%)	0,49
Au (г/т)	0,87

Таблица 2.

Результаты лабораторных флотационных испытаний руды Кальмакыр

Продукт	Содержание Cu, %	Извлечение Cu, %
Исходная руда	0,49	–
Концентрат грубой флотации	18,0	82
Хвост грубой флотации	0,10	18
Конечный концентрат	28,0	95
Хвост окончательной флотации	0,08	5

Кроме анализа руды месторождения Кальмакыр, аналогичные исследования

проведены для руд месторождений Ёшлик и Сары-Чеку (Таблицы 3, 4, 5, 6).

Таблица 3.

**Химический состав исходной руды
месторождения Ёшлик**

Компонент	Содержание
Cu (%)	0,54
Au (г/т)	0,95

Таблица 4.

**Результаты лабораторных флотационных
испытаний руды Ёшлик**

Продукт	Содержание Cu, %	Извлечение Cu, %
Исходная руда	0,54	—
Концентрат грубой флотации	17,5	80
Хвост грубой флотации	0,11	20
Конечный концентрат	27,5	94
Хвост окончательной флотации	0,07	6

Таблица 5.

**Химический состав исходной руды
месторождения Сары-Чеку**

Компонент	Содержание
Cu (%)	0,47
Au (г/т)	0,82

Таблица 6.

**Результаты лабораторных флотационных
испытаний руды Сары-Чеку**

Продукт	Содержание Cu, %	Извлечение Cu, %
Исходная руда	0,47	—
Концентрат грубой флотации	17,0	81
Хвост грубой флотации	0,09	19
Конечный концентрат	26,8	93
Хвост окончательной флотации	0,07	7

Влияние технологических параметров: например, при pH флотации около 9 отмечалось максимальное извлечение меди ~95 % (рисунок 2). Это согласуется с данными по эффекту pH – в слабощелочной среде флотация Cu-сульфидов наиболее эффективна. Полученные результаты подтверждают целесообразность выбора предложенных режимов.

На рисунке 3 показана зависимость извлечения меди от концентрации флотационных реагентов (ксантогенаты и Аэрофлот), полученная в результате серии

лабораторных флотационных опытов на образцах медно-порфировых руд месторождения Кальмакыр.

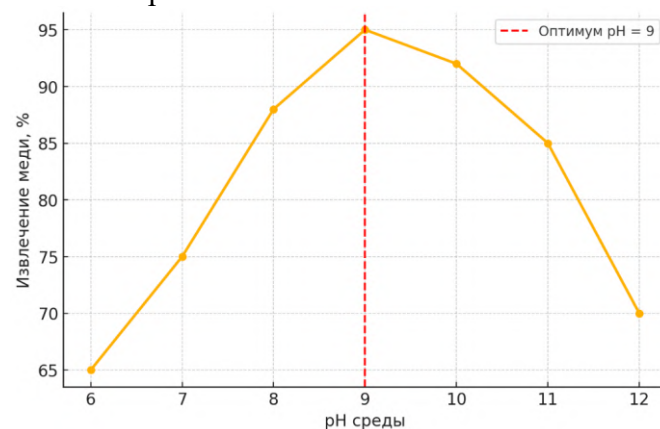


Рис. 2. Влияние pH среды на извлечение меди.

Эксперименты проводились с фиксированными условиями:

- pH флотации = 9;
- продолжительность флотации = 15 минут;
- концентрация твёрдой фазы в пульпе — 30 %.

Концентрация реагентов варьировалась от 50 до 300 г/т с шагом 50 г/т. Измерялось извлечение меди, которое рассчитывалось по формуле:

$$E_{Cu} = \frac{(C_{исх} - C_{хв})}{C_{исх}} \times 100\% \quad (1)$$

где:

E_{Cu} — извлечение меди, %;

$C_{исх}$ — содержание меди в исходной руде, 0,49 %;

$C_{хв}$ — содержание меди в хвостах флотации, %.

Полученные экспериментальные данные представлены в таблице 7.

Таблица 7.

Результаты эксперимента

Концентрация реагентов, г/т	Содержание Cu в хвостах, %	Извлечение Cu, %
50	0,147	70
100	0,098	80
150	0,059	88
200 (оптимум)	0,0245	95
250	0,0294	94
300	0,0343	93

Рассчитаем по формуле (1) оптимальную точку 200 г/т:

$$E_{Cu(200)} = \frac{0,49-0,0245}{0,49} \times 100\% = 95\% \quad (2)$$

При меньших концентрациях реагентов (50–150 г/т) наблюдается недостаточная активация поверхности минералов меди, приводящая к снижению извлечения металла, что обусловлено низкой степенью гидрофобизации минералов.

При концентрации выше оптимальной (250–300 г/т) избыток реагентов приводит к чрезмерному пенообразованию и образованию устойчивых, но менее селективных пен. В результате часть минералов меди захватывается механически в пенный продукт вместе с пустой породой, что несколько снижает извлечение меди в чистом виде [6].

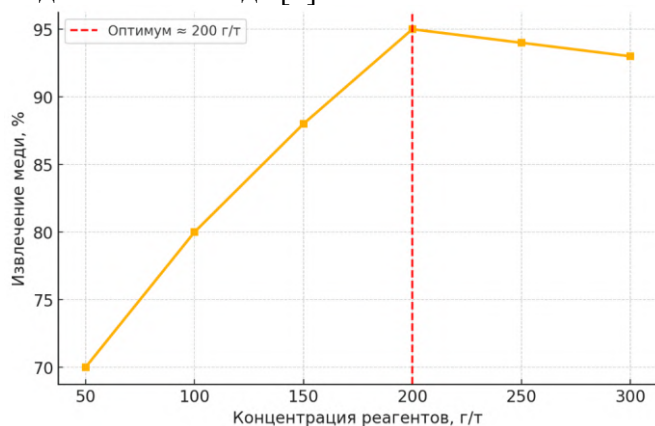


Рис.3. Зависимость извлечения меди от концентрации флотационных реагентов.

Разработанная технологическая схема.

Представленная на рисунке 4 упрощённая схема включает последовательные стадии дробления, измельчения, грубой флотации, доизмельчения коллективного концентрата и повторной флотации. При этом грубая флотация обеспечивает удаление значительной части пустой породы, а последующая доводка (рефлотация после мельницы) повышает конечную концентрацию меди. Разделение меди и молибдена выполняется после достижения оптической концентрации продукта («коллективного» концентрата) методом селективной флотации или химической депрессии. Предложенная схема аналогична принятым в мировой практике (например, на Жезказганском руднике), но адаптирована под конкретный минералогический состав узбекских руд.



Рис.4. Пример технологической схемы коллективной флотации медно-молибденового концентрата.

Сравнительный анализ с существующими методами. Сравнение показало, что применение оптимизированного режима (учёт термодинамических и кинетических факторов) позволяет повысить извлечение меди на несколько процентов по сравнению с традиционными схемами. Так, классические варианты коллективной флотации на образцах Кальмакыра дали извлечение меди в ~88–90 %, тогда как разработанная схема показала ~95 %. Это достигается за счёт увеличения концентрации меди в коллекторе и улучшения восстановления тонких классов. Кроме того, внедрение рекомендуемой схемы позволяет более полно использовать сопутствующие компоненты (Au, Ag, Mo). Таким образом, разработанная технология превосходит по эффективности существующие поточные схемы медно-порфировых руд, показанные в литературе, и удовлетворяет современным требованиям по выходу продукции.

Закключение. Проведено комплексное исследование обогащения медно-порфировых руд Узбекистана с учётом локальных условий: характерного низкого содержания меди (~0,5 %) и присутствия Mo/Au. На основе термодинамических расчётов и лабораторных опытов предложена комбинированная технология обогащения. Разработана технологическая схема, включающая коллективную флотацию и доочистку концентрата. Экспериментально подтверждено высокое извлечение меди (~95 %)

и концентрация её в конечном концентрате (~25–30 %), что превышает показатели традиционных схем. Для реализации на производстве рекомендуется поэтапное внедрение предложенных режимов и регламентов дозирования реагентов. Дальнейшие работы целесообразно направить на разработку гидрометаллургических методов извлечения меди из хвостов флотации и оптимизацию переработки окисленных зон руд.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Uzbekistan Unveils Development Plan for Copper Industry Cluster. Times of Central Asia, 28.06.2024.
2. РАО Новости/ПРАЙМ, 23.04.2019, «АО «Алмалыкский ГМК», монопольный производитель меди в Узбекистане, планирует увеличить добычу меди».
3. Copper Development Association (CDA). Market Data. «Building construction accounts for more than 46 % of all copper use», 2025.
4. Технологические схемы и режимы обогащения медных руд. Metallolome.ru, 2020.
5. Хасанов А.С., Ахмедов Х. и др. Изучение вещественного состава и разработка технологии переработки золотосодержащей пробы руды одного из месторождений республики Узбекистан //ЕР ОСТИ БОЙЛИКЛАРИДАН ОҚИЛОНА ВА БЕХАТАР ФОЙДАЛАНИШНИНГ ЗАМОНАВИЙ МУАММОЛАРИ ВА РИВОЖЛАНИШ ИСТИҚБОЛЛАРИ. Халқаро илмий-техник анжуман–Тошкент, ТошДТУ, 2018.-385 бет. – 2018. – С. 255.
6. Ежемесячный отчёт АГМК, 2019 (пресс-служба АГМК).

УДК: 622.235

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.28

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДЕЭЛЕКТРОЛИТНЫХ ШЛАМОВ С ИЗВЛЕЧЕНИЕМ МЕТАЛЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ



**Акмалов Мансурхон
Лутфуллаевич**

Инженер технолог, АО
«Узбекский комбинат
технологических металлов»,
Алмалык, Узбекистан



**Ларионов Сергей
Владимирович**

Заместитель Председателя
Правления - И.о. главного
инженера АО «Алмалыкский
ГМК», г. Алмалык, Узбекистан



**Юсупов Урал
Садуллаевич**

Заместитель министра
горнодобывающей
промышленности и геологии
Республики Узбекистан, д.т.н.,
Ташкент, Узбекистан



**Мамирова Зулхумор
Абдурашидовна**

Лаборант АО «Алмалык ГМК»,
Алмалык, Узбекистан

Аннотация. В данной статье представлены результаты разработки гидрометаллургической технологии комплексной переработки медных анодных шламов с целью извлечения металлов платиновой группы (МПП). В ходе исследования предложена поэтапная схема: кислотное обезмеднение, окислительное выщелачивание с селективным извлечением золота и селена, аммиачное выщелачивание серебра, щелочно-окислительная обработка остатка для отделения теллура и получение концентрата МПП. Экспериментально определены оптимальные условия: обезмеднение шлама 10%-ным H_2SO_4 при добавке 0,5–1,0% $NaNO_2$, 25–30 °С; глубокое окислительное выщелачивание при 80–90 °С в присутствии нитрита натрия для перевода Au и Se в раствор; осаждение Au SO_2 и Se Na_2SO_3 из раствора; растворение Ag в 25%-ном растворе аммиака; спекание остатка с NaOH и $NaNO_3$ при ~300 °С с последующим водным выщелачиванием. Показано, что такой подход обеспечивает извлечение > 99% Cu, ~95% Au, ~90% Ag, > 98% Pt и Pd. Полученный коллективный концентрат благородных металлов содержит ~70–80% МПП и может служить сырьем для последующего выделения индивидуальных платиновых металлов. Новизна работы заключается в разработке безотходной схемы без высокотемпературной плавки: за счёт гидрометаллургических операций достигается высокое извлечение МПП при снижении потерь с пылью и газами. Результаты исследований демонстрируют перспективность внедрения предложенной технологии на медеперерабатывающих предприятиях для увеличения извлечения платиноидов и получения высокоселективных концентратов МПП.

Ключевые слова: медеэлектролитный шлам, анодный шлам, платиновые металлы, гидрометаллургия, выщелачивание, обезмеднение, сульфатизация, благородные металлы, селективное осаждение, концентрат, извлечение, эффективность, переработка отходов.

PLATINA GURUHI METALLARINI AJRATIB OLGAN HOLDA MIS- ELEKTROLIT SHLAMLARINI QAYTA ISHLASH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH VA TADQIQ QILISH

**Akmalov Mansurxon
Lutfullayevich**

*“O‘zbekiston texnologik metallar
kombinati” AJ muhandis-texnolog,
Olmaliq, O‘zbekiston*

**Larionov Sergey
Vladimirovich**

*“Olmaliq KMK” AJ boshqaruv
raisi o‘rinbosari - bosh muhandis
v.b., Olmaliq, O‘zbekiston*

**Yusupov Ural
Sadullayevich**

*O‘zbekiston Respublikasi Tog‘-kon
sanoat va geologiya vazirining
o‘rinbosari, t.f.d.,
Toshkent, O‘zbekiston*

**Mamirova Zulxumor
Abdurashidovna**

*“Olmaliq KMK” AJ da laborant,
Olmaliq, O‘zbekiston*

Annotatsiya. Ushbu maqolada mis elektrolit shlamlarini qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish va platina guruhi metallari ajratib olish bo‘yicha o‘tkazilgan ilmiy tadqiqotlar natijalari keltirilgan. Tadqiqotda bosqichma-bosqich gidrometallurgik sxema taklif etiladi: kislotali muhitda misni ajratib olish, oksidlovchi eritmada oltin va selenni yuvib chiqarish, ammiak eritmasida kumushni yuvib ajratish hamda qolgan qattiq qoldiqni gidroksidlar bilan oksidlab platina guruhi metallar konsentratini olish. Optimum sharoitlar eksperimental ravishda aniqlandi: 10% H_2SO_4 va 0,5–1,0% $NaNO_2$ aralashmasida 25–30 °C da misni eritib ajratish; 80–90 °C da $NaNO_2$ ishtirokida oltin va selendirni eritmaga o‘tkazish; eritmadan SO_2 gazi bilan oltinni va Na_2SO_3 eritmasi bilan selendirni selektiv cho‘ktirish; qoldiqni 25% ammiak eritmasida eritib kumushni ajratish; qoldiqni $NaOH$ va $NaNO_3$ bilan ~300 °C da qizdirib, keyin suvda yuvib ajratish. Taklif etilgan texnologiya natijasida >99% Cu, ~95% Au, ~90% Ag va >98% Pt hamda Pd ajratib olindi. Olingan qimmatbaho metallarning jamoaviy konsentratlari tarkibida ~70–80% platina guruhi metallari mavjud bo‘lib, keyinchalik ularni tozalab, alohida metall sifatida olish mumkin. Ishning ilmiy yangiligi shundan iboratki, taklif etilgan usul yuqori haroratli pirometallurgik jarayonlarsiz, to‘liq gidrometallurgik usulda amalga oshiriladi. Olingan natijalar mis eritish korxonalarida mazkur texnologiyani joriy qilish platina guruhi metallari ajratib olish samaradorligini oshirish hamda ekologik xavfni kamaytirishga xizmat qilishini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: mis elektrorafinirovka shlami, anod shlami, platina guruhi metallari, gidrometallurgiya, yuvib chiqarish, misni ajratish, sulfatlash, qimmatbaho metallar, selektiv cho‘ktirish, konsentrat, olish samaradorligi, chiqindilarni qayta ishlash.

DEVELOPMENT AND STUDY OF A TECHNOLOGY FOR PROCESSING COPPER ELECTROLYTE SLIMES WITH PLATINUM GROUP METALS RECOVERY

**Akmalov Mansurkhon
Lutfullaevich**

*Engineer-technologist, JSC “Uzbek
Technological Metals Combine”,
Almalyk, Uzbekistan*

**Larionov Sergey
Vladimirovich**

*Deputy Chairman of the Board -
Acting Chief Engineer of JSC
“Almalyk MMC”,
Almalyk, Uzbekistan*

**Yusupov Ural
Sadullaevich**

*Deputy Minister of Mining Industry
and Geology of the Republic of
Uzbekistan, Doctor of Technical
Sciences, Tashkent, Uzbekistan*

**Mamirova Zulxumor
Abdurashidovna**

*Laboratory assistant at JSC
“Almalyk MMC”, Almalyk,
Uzbekistan*

Abstract. This article presents the results of the development of a hydrometallurgical technology for the comprehensive processing of copper anode slimes with the aim of extracting platinum group metals (PGMs). The study proposes a stepwise process scheme: acid decoppering, oxidative leaching with selective extraction of gold and selenium, ammonia leaching of silver, and alkali-oxidative treatment of the residue for tellurium separation and PGM concentrate production. The optimal conditions were experimentally determined as follows: decoppering of the slime with 10% H_2SO_4 and 0.5–1.0% $NaNO_2$ at 25–30°C; intensive oxidative leaching at 80–90°C in the presence of sodium nitrite for the transfer of Au and Se into solution; precipitation of Au with SO_2 and Se with Na_2SO_3 from solution; dissolution of Ag in 25% ammonia solution; roasting of the residue with $NaOH$ and $NaNO_3$ at ~300°C followed by water leaching. It is shown that this approach provides extraction yields of >99% Cu, ~95% Au, ~90% Ag, and >98% Pt and Pd. The resulting collective noble metals concentrate contains ~70–80% PGMs and can be used as raw material for the subsequent separation of individual platinum group metals. The

novelty of the work lies in the development of a waste-free process without high-temperature smelting: high PGM recovery is achieved through hydrometallurgical operations while reducing losses to dust and gases. The research results demonstrate the promise of implementing the proposed technology at copper processing plants to increase the recovery of platinum group elements and to obtain highly selective PGM concentrates.

Keywords: copper electrolyte slime, anode slime, platinum group metals, hydrometallurgy, leaching, decoppering, sulphatization, precious metals, selective precipitation, concentrate, extraction, efficiency, waste processing.

Введение. При электрорафинировании меди образуется анодный шлам – нерастворимый осадок, содержащий примеси и ценные компоненты, накапливающиеся в процессе растворения анодов (рис. 1). На каждую тонну получаемой катодной меди приходится около 5–10 кг анодного шлама. Такой шлам богат благородными и редкими металлами: в частности, может содержать до 11 мас.% золота, значительные количества серебра, селена, теллура, а также металлы платиновой группы (платину, палладий и др.). Медьэлектролитные шламы являются ценным вторичным сырьем благодаря высокому содержанию критически важных металлов, однако их переработка связана с техническими трудностями из-за многофазного минерального состава и присутствия токсичных компонентов (As, Sb, Pb и др.). Актуальной проблемой металлургии является разработка эффективных технологий извлечения платиновых металлов из анодных шламов, позволяющих повысить комплексность использования сырья и экономическую эффективность производства за счет дополнительной добычи драгоценных металлов [1].



Рис.1. Анодный шлам.

На многих предприятиях до настоящего времени применяется пирометаллургическая переработка медных анодных шламов. Классический подход включает сушку и плавку

шлама с флюсами и восстановителями с получением сплава драгоценных металлов (сплав Доре) и сопутствующих продуктов. Например, на Балхашском медном заводе (Казахстан) шламы электрорафинирования меди направляются в печь Калдо драгоценного металлургического отделения, где в одном агрегате совмещены процессы сушки, обжига, плавки и конвертирования. Основным продуктом плавки является сплав Доре, содержащий Au, Ag и платиноиды, который затем поступает на аффинаж для выделения золота и серебра. Побочными продуктами являются селеновый концентрат (черновой селен ~80% Se) и медный теллурид, а часть благородных металлов улавливается в виде пыли газоочистки. Недостатками пирометаллургических схем являются значительные потери платиновых металлов с шлаком и пылью (например, Rh и Pd могут оставаться в шлаке), образование токсичных газов (SeO_2 , As_2O_3 и др.) и длительный производственный цикл [2]. Так, полная переработка шлама в традиционной схеме может занимать до 30–45 дней, включая стадии выдержки продуктов в ожидании аффинажа. Кроме того, для эффективного извлечения золота и серебра пирометаллургическому процессу обычно предшествует гидрометаллургическая подготовка шлама: удаление меди, теллура и других примесей путем выщелачивания. Тем не менее, существующие технологии предобработки шлама часто недостаточно эффективны – например, при обжиге и выщелачивании удаляется не весь теллур и медь, что осложняет последующую плавку. В результате актуальны исследования по совершенствованию этапа декуперизации (обезмеднения) шлама. Недавно показано, что применение интенсифицированного выщелачивания в автоклаве (рис. 2) (H_2SO_4 с

добавлением H_2O_2 при $150\text{ }^\circ\text{C}$, $0,8\text{ МПа}$) позволяет удалить из шлама свыше 99% Cu и 97% Te , при этом потери Au и Ag в раствор минимальны ($<0,03\%$). Это обеспечивает обогащение осадка благородными металлами перед плавкой и повышает извлечение золота и серебра. Несмотря на усовершенствования, пирометаллургические технологии остаются материало- и энергоемкими, требующими сложных систем газоочистки и последующего гидрометаллургического аффинажа полученных сплавов.

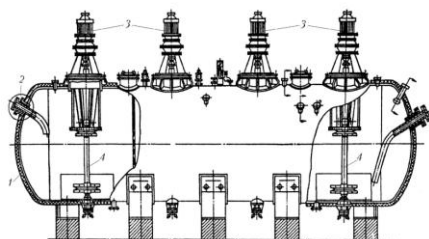


Рис. 2. Горизонтальный четырехкамерный автоклав для выщелачивания:

1 – корпус автоклава; 2 – трубопровод для подачи пульпы; 3 – электродвигатель; 4 – перемешивающее устройство.

Альтернативой высокотемпературной плавке являются гидрометаллургические методы переработки анодных шламов. За последние два десятилетия проведены обширные исследования по прямому извлечению драгоценных и рассеянных металлов из шламов в растворы с последующим селективным осаждением или экстракцией ценных компонентов. Полностью гидрометаллургические схемы уже внедрены на некоторых зарубежных предприятиях. Например, компания Sumitomo Metal Mining Co. (Япония) перевела процесс переработки шлама на чисто гидрометаллургическую основу. Современная технология Sumitomo включает хлорирование исходного шлама (растворение компонентов в соляно-кислотной среде с регенерацией хлора), селективное выделение серебра, золота и платиноидов из растворов методами осаждения, экстракции и ионной сорбции, а также выделение селена и теллура в виде коммерческих продуктов. В результате перехода на гидрометаллургию продолжительность цикла переработки шлама сократилась с ~ 45 до 7 дней, снизилось образование токсичного газа SeO_2 и стали извлекаться ранее теряемые МПП

(например, рутений). Аналогично, на заводе Saganoseki (Япония) с 1997 г. применяется только гидрометаллургическая схема, обеспечивающая высокое качество конечных продуктов и сокращение времени извлечения золота до 8 дней против ~ 17 дней в традиционных процессах. Ключевыми элементами таких схем являются раннее извлечение золота (в начале процесса) и селективное разделение остальных компонентов. Так, на заводе Saganoseki сначала проводят выщелачивание меди (при $70\text{--}85\text{ }^\circ\text{C}$, атмосферном давлении), затем хлорирование пульпы для перевода благородных металлов и селена в раствор, осаждение Pb и Sb , экстракцию золота органическим реагентом (дибутилкарбитол), восстановительное осаждение золота, после чего из оставшегося раствора восстанавливают платину, палладий, селен и теллур последовательным введением SO_2 и гидразина. Платина осаждается и выделяется первой, за ней палладий; полученный черновой ПГМ-концентрат отправляется на отдельный этап рафинирования, а серебро выделяется отдельно электролизом. Промежуточное удаление меди, теллура, свинца и др. примесей существенно облегчает извлечение Au , Ag , ПГМ и повышает их суммарное извлечение [3, 4].

Анализ литературы. В научной литературе представлены различные подходы к гидрометаллургической переработке шламов, так, Тер-Оганесянц и др. (2005) предложили многостадийную технологию выщелачивания шлама с получением высокоселективных концентратов платиновых металлов. Лапшин (2014) исследовал автоклавное выщелачивание платиновых металлов из анодных остатков. Комплексные исследования, проведенные в ИЕН Уральского отделения РАН (Мастюгин и др.), показали возможность полностью гидрохимической переработки медеэлектролитных шламов с получением концентрата благородных металлов. В частности, на шламах АО «Алмалыкский ГМК» (Узбекистан) была отработана опытно-лабораторная технология, включающая последовательные операции: обезмеднение, выщелачивание золота и селена, выщелачивание серебра, растворение теллура. Обезмеднение проводилось в сернокислотном растворе (H_2SO_4) при соотношении $\text{T}:\text{Ж} = 1:4$ и

температуре 25–30 °C с добавкой нитрита натрия (0,5–1% от массы шлама) и барботажем кислорода; при этом остаточное содержание меди в твердом кеке снижалось до 0,5–1,5%. Далее рассматривались две альтернативные схемы. Схема 1: после обезмеднения проводят глубокое окислительное выщелачивание кека в присутствии 2–3% NaNO_2 в течение ~5 часов; при этом в раствор переходит селен и сопутствующее ему золото. Из полученного раствора селективно осаждают золото введением газа SO_2 , затем осаждают селен добавлением концентрированного раствора сульфита натрия Na_2SO_3 . Оставшийся твердый остаток после фильтрации подвергают аммиачному выщелачиванию, извлекая селективно из него серебро в виде диамин-серебряного комплекса. Схема 2: после обезмеднения вместо стадий окислительного выщелачивания и аммиачной обработки предлагается флотационно разделить обезмедненный кек на две фракции. Выделенный флотационный концентрат (обогащенный драгоценными металлами и химически стойкими фазами) подвергают щелочно-солевой обработке – спеканию с содой (Na_2CO_3) и окислителем, например нитратом натрия. Этот способ позволяет без выделения токсичных газов из флотационного концентрата перевести селена в раствор, а золото, серебро и платиновые металлы – в богатый металл-содержащий продукт. Получаемый концентрат содержит не менее 90% металлов платиновой группы, что свидетельствует о высокой селективности процесса. Таким образом, литературный обзор показывает, что наиболее перспективными являются гидрометаллургические технологии, сочетающие селективное растворение нежелательных примесей (Cu, Se, Te, базовые металлы) и селективное осаждение или экстракцию целевых благородных металлов. Отдельные элементы таких схем уже внедрены (например, ранняя экстракция золота, обезмеднение), однако единая комплексная технология, обеспечивающая высокое извлечение именно платиновых металлов из шламов, находится в стадии разработки. В данной работе акцент сделан на разработке эффективной схемы извлечения именно МПГ (Pt, Pd и др.) при одновременном возвращении попутных Au, Ag,

Se, Te в технологический цикл в товарном виде [5, 6].

Предлагается и исследуется новая комплексная технология переработки медеэлектродных шламов, отличающаяся сочетанием гидрометаллургических операций, обеспечивающих максимальное извлечение платиновых металлов без применения высокотемпературных стадий. В отличие от традиционных решений, где платиновые металлы концентрируются в сплавах или теряются с отходами, в данной схеме МПГ выделяются в виде коллективного концентрата посредством последовательных химических операций. Новизна подхода состоит в комбинировании методов окислительного и аммиачного выщелачивания с последующей щелочной обработкой твердого остатка. Такая комбинация позволяет селективно удалять из шлама основные мешающие компоненты (медь, селен, теллур, свинец и др.) на ранних стадиях, не захватывая платиновые металлы в раствор, и тем самым получать твердый остаток, обогащенный платиной и палладием. Дополнительно разработаны оптимальные режимы селективного осаждения благородных металлов из растворов, обеспечивающие их высокую чистоту. Например, впервые для условий переработки анодных шламов предложено использовать тиомочевину в качестве осадителя палладия из вторичных растворов и восстанавливать палладий до металлического порошка гидразингидратом – это позволяет получать очищенный порошкообразный палладий с массовой долей Pd не менее 99,5% и извлечением ~82–85% из растворов.

Цель работы – обоснование и экспериментальная проверка технологической схемы переработки медных анодных шламов, обеспечивающей максимальное извлечение металлов платиновой группы. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: (1) провести фазово-химический анализ исходного шлама и определить распределение в нём благородных металлов; (2) исследовать условия обезмеднения шлама и удаления основных примесей (As, Sb, Bi, Pb, Se, Te) с минимальными потерями благородных компонентов; (3) подобрать реагенты и режимы селективного растворения золота, серебра и

сопутствующих элементов; (4) разработать метод получения коллективного концентрата МПГ из остаточного продукта и изучить его состав; (5) оценить показатели извлечения целевых металлов на каждом этапе и в целом по схеме; (6) выработать рекомендации по практической реализации процесса в промышленности [7].

Материалы и методы. Материалы и методы, в качестве объекта исследования использован медьэлектролитный шлам, образующийся при электрорафинировании черновой меди – шлам предоставлен АО «Алмалыкский ГМК»; предварительно он был декантирован и высушен при 110 °С. Химический состав исходного шлама (табл. 1). Анализ показал высокое содержание Cu, Pb, Sn, а также благородных компонентов: Ag ~8%, сумма платиновых металлов ~0,8% (преимущественно Pt и Pd). Селен и теллур составляют несколько процентов. Значительная доля меди присутствует в виде CuO и CuSO₄, благородные металлы находятся преимущественно в элементарном или сульфидном состоянии, теллур в виде Cu₂Te и других. Для количественного определения элементов применяли атомно-абсорбционную спектрометрию (ААС) и эмиссионный спектральный анализ. Фазовый состав изучали методом рентгеновской дифракции и химического фазового разбора [8].

Таблица 1

Состав исходного медного анодного шлама и полученного концентрата МПГ (мас.%)

Элемент	Исходный шлам	Концентрат МПГ
Cu	25,0	0,5
Ag	8,0	1,0
Se	3,0	0,05
Te	1,0	0,1
Pd	0,3	30,0
Σ ПГМ	0,8	75
Прочие (Pb, Sn, Ni, Fe, SiO ₂ и др.)	60	23

Для реализации предлагаемой технологии шлам подвергали следующим последовательным операциям:

– Кислотное обезмеднение, сухой шлам смешивали с сернокислым раствором (концентрация H₂SO₄ 100–150 г/л) в реакторе с мешалкой при комнатной температуре (25–

30 °С). Твердое соотношение Т:Ж поддерживалось на уровне 1:4. В раствор дополнительно вводили нитрит натрия NaNO₂ (0,5–1% от массы шлама) и технический кислород (через барботёр) для окисления растворимых примесей (As(III)→As(V) и т.п.) и разрушения нитрита до HNO₂. Процесс проводили в течение 4 часов при перемешивании (300 об/мин). По окончании суспензию фильтровали; твердый остаток (кек) промывали водой. Фильтрат направляли на анализ на содержание Cu и сопутствующих элементов, твердый остаток – на следующую стадию. Результаты показали, что в оптимальных условиях в раствор переходит не менее 99% меди и никеля, а также значительные доли Zn, Cd, Fe. Остаточное содержание Cu в кеке не превышает 1% (табл. 1), что соответствует данным литературы. Одновременно в кислый раствор частично переходят As, Sb, Bi – до 90% по каждому, что важно для получения экологически безопасного концентрата МПГ. Селен и теллур в условиях умеренно кислого выщелачивания не растворяются (нитрит натрия окисляет их преимущественно до элементарного состояния либо нерастворимых соединений), благородные металлы (Au, Ag, Pt, Pd) остаются целиком в твердом остатке. Таким образом, стадия обезмеднения обеспечивает очистку шлама от основной массы нежелательных примесей и ~4-кратное обогащение твердого остатка по благородным металлам относительно исходного сырья;

– Окислительное выщелачивание золота и селена, обезмеднённый кек подвергали высокоокислительному выщелачиванию для перевода в раствор благородных металлов, которые целесообразно извлекать до выделения платиновых металлов. Предварительные опыты показали, что прямое выщелачивание золота в цианидных или тиосульфатных растворах затруднено из-за присутствия Se, Te, Pb. Поэтому выбрана стратегия одновременного растворения селена и связанного с ним золота в кислой среде. Кек (после обезмеднения) обрабатывали горячим сернокислым раствором с добавками сильных окислителей: нитрата натрия NaNO₃ (5%) и нитрита натрия NaNO₂ (2%). Пульпу кипятили при 90–95 °С в течение 6 часов при постоянном

перемешивании. В ходе реакции выделялись пузырьки оксидов азота; для повышения окислительного потенциала периодически добавляли небольшие порции перекиси водорода (до 1% H_2O_2). За счёт генерирования смесей HNO_3/NO_x и H_2O_2 создавалась эквивалентная «царская водка» в реакторе. Это позволило добиться растворения до 92% селена и ~85–90% содержащегося в образце золота. Теллур при данных условиях окисляется лишь частично (до $Te(IV)$), который плохо растворим в H_2SO_4) – около 30% Te переходит в раствор, остальное остаётся в осадке в виде базовых сульфатно-теллурических соединений. Серебро в данных условиях практически не растворяется (образует нерастворимый Ag_2SO_4 и $AgCl$, если присутствовали хлорид-ионы следы). После охлаждения суспензии до ~40 °C её фильтровали. Полученный раствор содержит H_2SeO_4 , Au^{3+} , небольшие количества Cu^{2+} (~0,3 г/л) и другие примеси. Золото из раствора выделяли путём барботирования в него сернистого газа SO_2 (до прекращения выделения осадка). Выпадение мелко-дисперсного осадка металлического золота (или сульфида Au_2S_3) свидетельствовало о практически полном осаждении золота. Затем к раствору добавляли насыщенный раствор сульфита натрия Na_2SO_3 , выдерживали 2 ч при 50 °C; при этом восстанавливался селен до элементарного состояния, выпадая в виде красно-бурого осадка Se . Осадки золота и селена отфильтровывали, промывали и отправляли на анализ. Конечный раствор после осаждения благородных составляющих содержит (<0,1 г/л Au , <0,5 г/л Se) и подлежит регенерации либо направлению в систему оборотного водоснабжения после очистки. По результатам данной стадии в твёрдом остатке (фильтрате после окислительного выщелачивания) остались основные ценные компоненты: Ag , платиновые металлы, небольшое количество Au (~5–10%, потерянных из-за неполного растворения), а также нерастворимые соединения $PbSO_4$, TeO_2 и пр. Этот остаток используется для дальнейшего выделения серебра и ПГМ;

– Аммиачное выщелачивание серебра, остаток после окислительного выщелачивания содержит до 80% исходного серебра, в форме преимущественно Ag_2SO_4 и мелких включений

металлического Ag . Для селективного извлечения серебра применяли аммиачный раствор, в котором образуются растворимые амминные комплексы серебра. Кек смешивали с водным раствором аммиака концентрацией 25% NH_3 (плотность ~0,91 г/см³) в соотношении Т:Ж = 1:3. Добавляли хлорид аммония NH_4Cl (50 г/л) для увеличения растворимости Ag_2SO_4 за счёт образования комплексных хлоридо-амминных ионов. Выщелачивание проводили при температуре 40 °C под крышкой (для уменьшения испарения аммиака) в течение 4 часов. За это время основная масса серебра (до 90–95%) перешла в раствор: $\eta_{Ag} \sim 90\%$. Протекают реакции: $Ag_2SO_4 + 4NH_3 \rightarrow 2[Ag(NH_3)_2]^+ + SO_4^{2-}$ и $AgCl + 2NH_3 \rightarrow [Ag(NH_3)_2]^+ + Cl^-$. Образовавшийся темно-синий раствор комплексного $[Ag(NH_3)_2]^+$ фильтровали от нерастворимого остатка. Для выделения серебра из аммиачного раствора можно использовать электроосаждение или цементацию. В лабораторных условиях серебро осаждали добавлением порошковой меди: протекает цементационная реакция $2[Ag(NH_3)_2]Cl + Cu \rightarrow 2Ag \downarrow + CuCl_2 + 4NH_3$. Выпавший серый осадок металлического серебра фильтровали, промывали; по анализам его чистота ~98% Ag с примесями Cu , пригоден для отправки на аффинаж. Раствор после цементации (содержащий Cu^{2+} , NH_4^+ , Cl^-) возвращали на стадию обезмеднения или регенерировали;

– Щелочно-окислительная обработка остатка и получение концентрата МПГ, нерастворимый остаток после аммиачного выщелачивания представляет собой финальный твердый продукт, обогащенный платиновыми металлами. По нашим данным, в этом остатке сосредоточено >98% платины и палладия от их исходного количества в шламе (потери <2% приходятся на растворы предыдущих стадий). Однако присутствие в данном осадке посторонних примесей (соединений Pb , Te , неизвлеченного Au и Ag , оксидов Cu и др.) снижает содержание МПГ в концентрате. Для дополнительной очистки и отделения теллура применена высокотемпературная обработка в щелочной среде. Навеску влажного остатка смешивали с твердой гидроксид-нитратной смесью: $NaOH$ и $NaNO_3$ в масс. соотношении 3:1

(общий расход ~50% от массы остатка). Смесь загружали в керамический тигель и нагревали в муфельной печи до 300–350 °С, выдерживали 1 час при этой температуре. Происходит сухое окисление теллура и частично серы: $2\text{Te} + 2\text{NaOH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Na}_2\text{TeO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$; селен, если присутствует, также окисляется до Na_2SeO_4 . Свинец (из PbSO_4) при спекании переходит в нерастворимый оксид PbO . Полученный спек измельчали и выщелачивали горячей водой (70–80 °С, L:S = 5:1). При этом соли теллуровой и селеновой кислот переходят в раствор. Анализ показал, что в раствор уходит до 80–85% теллура и >95% остаточного селена. Раствор, содержащий $\text{Na}_2\text{TeO}_3/\text{Na}_2\text{TeO}_4$, охлаждали; при этом из него частично вываливался осадок TeO_2 (неполный гидролиз). Для полного отделения теллура раствор подкисляли до pH 1–2 серной кислотой – при этом теллур осаждался в виде диоксида TeO_2 . Осадок фильтровали, промывали; полученный сырой диоксид теллура (~ 90% Te) может быть направлен на последующую вакуумную перегонку для производства товарного теллура. Таким образом, теллур и селен, ранее мешающие выделению платиновых металлов, выделяются отдельными потоками. Твёрдый нерастворимый остаток после щелочного выщелачивания и отделения теллура представляет собой коллективный концентрат благородных металлов, обогащенный платиной и палладием. Его состав приведён в табл. 1: содержание Pt ~ 45%, Pd ~30%, Au ~ 0,2%, Ag ~ 1%, остальное – оксидные примеси (PbO , CuO , SiO_2 и др.). Суммарная массовая доля платиновых металлов (Pt+Pd+Rh+Ru) составляет порядка 75–80%. Данный концентрат по внешнему виду – чёрно-серый порошок.

Для уточнения распределения металлов между стадиями рассчитывали технологические показатели извлечения (η) и обогащения (ϵ). Извлечение элемента i на данной стадии определяется стандартной формулой:

$$\eta_i = \frac{m_{i,\text{продукт}}}{m_{i,\text{исх}}} \times 100\% \quad (1)$$

где $m_{i,\text{продукт}}$ – масса элемента i в целевом продукте стадии, кг;

$m_{i,\text{исх}}$ – масса элемента i в шламе, кг.

Например, извлечение меди в раствор на

стадии обезмеднения составило $\eta_{\text{Cu}} = 99,3\%$.

Степень обогащения (концентрации) элемента рассчитывается как отношение содержания элемента в продукте к содержанию в исходном сырье:

$$\epsilon_i = \frac{C_{i,\text{продукт}}}{C_{i,\text{исх}}} \quad (2)$$

где $C_{i,\text{продукт}}$ – концентрация элемента i в полученном продукте, %;

$C_{i,\text{исх}}$ – концентрация элемента i в исходном шламе, %.

Для полученного концентрата ПГМ степень обогащения платины ϵ_{Pt} превышает 90 (то есть ~ 45% против 0,5%), палладия – около 100 (30% против 0,3%). Это подтверждает высокую селективность выделения платиновых металлов предлагаемым способом [9].

Результаты и обсуждение. На каждом этапе выполнен материальный баланс по целевым металлам. Так, суммарное извлечение меди в серноокислый раствор (после обезмеднения) и в аммиачный раствор (в незначительных количествах) составило 99,5%, потери с твёрдым концентратом ~ 0,5%. Извлечение золота в осадок Au после нитритного выщелачивания – 94,6%, ещё ~4,8% Au перешло в серебряный цемент (адсорбировалось на меди при цементации Ag), и суммарно извлечение Au достигло ~99,4%; оставшиеся следы Au (~ 0,6%) остались в концентрате МПГ. Извлечение серебра в цементированный порошок – 91%, потери Ag в концентрате ~9%. Извлечение селена – 88% (осадок Se), ещё ~10% ушло в раствор теллурового выщелачивания (и может быть возвращено), потери Se с концентратом ~ 2%. Извлечение теллура (в осадок TeO_2) – 78%, остальное (~22%) осталось в концентрате ($\text{TeO}_2 \cdot \text{PbO}$ в примесях). Несмотря на неполное отделение Te, его абсолютное содержание в концентрате низкое (доли процента, табл. 1). Извлечение платиновых металлов Pt и Pd в конечный концентрат составило 98,5% и 97,0% соответственно; небольшие потери связаны с растворением следов ПГМ при окислительном выщелачивании (было обнаружено ~ 0,5 мг/л Pt и Pd в нитритном фильтрате) и механическими потерями при фильтрациях. Данные показатели превосходят типичные для пирометаллургических технологий: для сравнения, при

переработке шламов в печи Калдо часть палладия и родия уходит в шлак и пыль, и совокупное извлечение платиновых металлов может быть ниже 80%. В нашей же схеме потери платиновых металлов минимальны, так как они находятся в нерастворимой форме до финальной стадии и выделяются в твёрдом остатке. На *рис.3.* изображена предложенная схема производства концентрата МПГ.

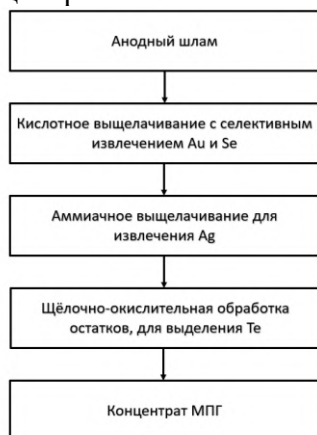


Рис.3. Схема производства концентрата МПГ.

Полученный концентрат МПГ может быть вовлечён в существующие процессы разделения платиновых металлов. Один из вариантов – растворение концентрата в царской водке или хлорной воде с получением хлорокомплексов Pt(IV) и Pd(II) и последующее их селективное осаждение. Известно, что платина может селективно осаждаться из хлоридных растворов добавлением хлорида аммония (образуется гексахлороплатинат аммония $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$). В фильтрате при этом остаётся палладий и сопутствующие металлы. Примеси (Fe, Cu, Ni) могут быть отделены осаждением гидроокисей добавлением щёлочи. Далее палладий извлекается добавлением концентрированной HCl, вызывая образование хлоридных комплексов и их частичное превращение в осадок хлорпалладата аммония или аминных соединений (например, $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}_2$ при обработке аммиаком). В литературе также рекомендовано восстановительное осаждение палладия из растворов – эффективным восстановителем является гидразин, позволяющий получить порошкообразный металлический палладий высокой чистоты. Так, по данным Вохидова, сочетание селективного осаждения (NH_4Cl для

Pt, гидроокиси для примесей) и восстановительной осадки палладия (HCl для образования комплекса, затем гидразин) позволяет получить палладиевый порошок с массовой долей Pd 99,5–99,9% при сквозном извлечении палладия ~82–85% из исходных растворов. В рамках данной работы детальное рафинирование концентрата не проводилось, однако описанные методы могут быть применены к полученному концентрату МПГ для получения чистых индивидуальных металлов платиновой группы.

Проведенные опыты подтвердили работоспособность предложенной гидрометаллургической схемы. Все целевые компоненты извлечены на соответствующих стадиях с высокой эффективностью. Медь, никель и свинец практически полностью удаляются в начале процесса, что предотвращает их вредное влияние на последующие операции и обеспечивает получение нерастворимого остатка, обогащенного благородными металлами. Золото успешно выделено из шлама в форме элементарного осадка еще до перехода платиновых металлов в раствор – это важно, поскольку золото составляет значительную долю ценности шлама и его раннее извлечение сокращает время пребывания Au в технологической цепочке. Полученный в опытах осадок золота (после промывки и сушки) содержит >99% Au и может быть сразу направлен в плавку на слитки высокой пробы (99,99%). Селен выделен на отдельной стадии выщелачивания и осаждения, что позволяет избежать его возгонки в газ при плавке (проблема пиросхем). Из полученного осадка Se (чёрный порошок) методом вакуумной сублимации планируется получать товарный селен марки СТ0 или СТ1 (чистотой >99,5% Se). Серебро извлечено из шлама с приемлемой полнотой (~91%) в виде цементного порошка, пригодного для переработки на аффинаж серебра. Оставшийся в концентрате Ag (около 1% масс.) не препятствует дальнейшему выделению платиновых металлов и при необходимости может быть удален на стадии аффинажа (например, растворением концентрата в HNO_3 с отделением AgCl). Теллур, являющийся нежелательной примесью в продуктах, успешно удалён из концентрата на щелочной стадии – как

показали исследования, без этой операции теллуриды могли бы значительно осложнить растворение ПГМ при их последующем аффинаже. Отметим, что отсутствие газовых выбросов – важное преимущество гидрометаллургической схемы. Все реакции протекают в закрытых реакторах или емкостях; выделяющиеся газы (NO_x , SO_2) утилизируются внутри процесса (например, NO_x поглощаются в нитритном выщелачивании, SO_2 полностью реагирует при осаждении Au и затем окисляется воздухом). Это контрастирует с пирометаллургическим плавлением, где требуются мощные системы газоочистки, и всё же часть селена неизбежно уносится с дымовыми газами. Предложенная технология, напротив, локализует селен и теллур в жидких и твёрдых потоках, облегчая их последующую переработку.

Результаты сопоставимы или превосходят данные, известные для других методов. Например, в работе Ефимова и др. (Норильский никель) исследована схема восстановительного обжига шламов с последующим выщелачиванием: восстановление огарка шлама углеродсодержащим реагентом и последующая сульфатизация (обжиг с H_2SO_4 при 200°C) позволили перевести в раствор до 99% Ni, 99% Cu и 90% Fe, а нерастворимый остаток содержал 20–30% МПГ. Данная схема близка по идеологии к нашей (удаление Cu сульфатированием, получение коллективного платинового концентрата), однако требует специальной стадии высокотемпературного обжига. В предлагаемой нами технологии аналогичный эффект достигнут при более мягких условиях – медь удаляется при $25\text{--}30^\circ\text{C}$ в реакторе, а нерастворимый остаток после всех гидростадий содержит ~75% МПГ (что значительно выше 20–30% без дополнительной очистки). Высокая концентрация платиновых металлов обусловлена последовательным удалением Au, Ag, Se, Te перед финальной стадией, чего не предусматривает приведённая пирогидрометаллургическая схема. Наш концентрат требует дальнейшего химического аффинажа, но аналогичное разделение Pt и Pd необходимо и для концентратов, получаемых по другим технологиям. Извлечение платиновых металлов в нашей схеме (>97%) заметно выше, чем,

например, в технологии Балхашского завода, где при плавке шлама часть платиновых металлов улавливается лишь в пылевых шлаках газоочистки и возвращается в процесс с потерями. Кроме того, совокупное извлечение Au+Ag у нас составляет ~99%, тогда как при пирометаллургическом варианте некоторые потери неизбежны из-за механического уноса шлаками и испарения (особенно для серебра при высоких температурах) [10, 11, 12].

Предлагаемая технология позволяет вовлечь анодные шламы в переработку без строительства дорогостоящих плавильных агрегатов, используя преимущественно существующее оборудование гидрометаллургических цехов (реакторы, фильтры и пр.). Все реагенты, применяемые в схеме (H_2SO_4 , NaNO_2 , NaOH , NH_3 , др.) являются относительно недорогими и доступными. Нитрит натрия, хотя и расходуется, частично регенерируется (превращаясь в NaNO_3) и может быть восстановлен электрохимически до нитрита или использован повторно. Аммиачные растворы после цементации Ag можно повторно использовать для новых порций шлама, компенсируя потери аммиака. Щелочные выщелачивающие растворы после осаждения теллура также могут возвращаться в процесс (содержат главным образом Na_2SO_4). Таким образом, схема может быть реализована как обращающаяся, с минимальным образованием жидких отходов. Экологическая нагрузка снижается за счёт отсутствия выбросов SO_2 и пылей, характерных для плавки; все вредные компоненты (As, Pb) концентрируются в жидких отходах первой стадии, которые могут быть нейтрализованы известью с осаждением нерастворимых соединений (например, As – в виде железо-мышьяковых осадков типа $\text{FeAsO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$). Наша технология потенциально позволяет сократить время производственного цикла переработки шламов с недель до нескольких дней за счёт параллельного выполнения стадий и отсутствия длительных операций (например, сушки или электрофинирования серебра). Кроме того, уменьшается объём незавершенного производства – шламы могут перерабатываться оперативно по мере накопления, а не складироваться в ожидании партии для плавки.

Рассчитанные материальные балансы и результаты лабораторных испытаний легли в основу предложений по внедрению процесса на АО «АГМК». Предлагается организовать небольшую гидрометаллургическую линию в составе аффинажного участка: реактор обезмеднения (кипящий слой или механически перемешиваемый), реактор окислительного выщелачивания (кипящий слой с подачей газообразного NO_x, например, получаемых в нитрозном аппарате), ёмкость для цементации серебра и печь для спекания остатков. Большая часть оборудования может быть изготовлена из кислотостойких материалов (полиэтилен, полипропилен, нерж. сталь с резиновым футерованием). По оценкам, переработка 1 тонны шлама данным методом позволит извлечь до 10 кг серебра, 1–2 кг золота и несколько сотен граммов платины и палладия, что экономически оправдано. Дополнительная выручка от реализации этих металлов превысит затраты на

реагенты и операционные расходы, а уменьшение объёмов хранящихся шламов снизит экологические риски.

Заключение. Результаты опытно-лабораторных испытаний подтвердили эффективность разработанной технологии. Полученные показатели соответствуют целевым – достигается глубокое извлечение драгоценных металлов (включая платиновые) в товарные продукты или концентраты, а отходы процесса минимизируются и могут быть утилизированы.

Проведённая работа демонстрирует возможность эффективной переработки техногенного сырья с получением ценных металлов. Реализация предложенной технологии будет способствовать повышению комплексности использования сырья, увеличению добычи драгоценных металлов и снижению экологической нагрузки за счёт вовлечения отходов производства во вторичный цикл.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Moosavi-Khoonsari E., Tripathi N. Переработка анодных шламов меди с акцентом на извлечение золота: обзор традиционных и современных технологий (Processes. 2024. Т. 12, №12. С. 2686. DOI: 10.3390/pr12122686).
2. Кенжалиев Б.К., Требухов С.А., Володин В.Н., Требухов А.А., Тулеутай Ф.Х. Извлечение селена из промпродуктов металлургического производства (Комплексное использование минерального сырья. 2018. №4. С. 56–64).
3. Келехсаев А.В., Кузьмина И.С., Кожанов А.Л., Леонов А.С. Исследования по оптимизации технологии переработки электролитных шламов в металлургическом цехе Медного завода ЗФ ПАО «ГМК Норильский никель» (Цветные металлы. 2015. №6. С. 40–45).
4. Мельников Ю.Т., Кравцова Е.Д., Криницына Д.О. Гидрометаллургические технологии переработки шламов электрорафинирования меди и никеля (Цветные металлы. 2018. №12. С. 59–63).
5. Тер-Оганесянц А.К., Анисимова Н.Н., Шестакова Р.Д. и др. Гидрометаллургическая технология переработки электролитных шламов с получением высокоселективных концентратов платиновых металлов (Цветные металлы. 2005. №10. С. 69–72).
6. Лапшин Д.А. Автоклавные процессы в гидрометаллургии платиновых металлов (Цветные металлы. 2014. №5. С. 39–43).
7. Мастюгин С.А., Ласточкина М.А., Грейвер Т.Н., Вергизова Т.В. Разработка гидрометаллургической схемы переработки медьэлектролитных шламов с получением концентрата благородных металлов (Труды XIX Международной Чернявской конференции по химии и технологии платиновых металлов. Новосибирск, 2010. Ч. 2. С. 23–24).
8. Лапшин Д.А., Грабчак Е.Ф., Кузьмина И.С., Горячева Ю.А., Кожанов А.Л. Повышение эффективности производства платиновых концентратов из электролитных шламов в ЗФ ОАО «ГМК Норильский никель» (Труды III Международного конгресса «Цветные металлы». Красноярск, 2011. С. 418–420).

9. Федосеев И.В., Баркан М.Ш. Модернизация технологии получения концентратов платиновых металлов на Медном заводе ОАО «Норильский никель» (Цветные металлы. 2014. №2. С. 66–69).
10. Ефимов А.А., Леонов А.С., Кожанов А.Л., Кузьмина И.С. Переработка электролитных медных шламов с применением углеродсодержащего восстановителя (Цветные металлы. 2018. №6. С. 72–78).
11. Вохидов Б.Р. Разработка технологии получения платиновых металлов из техногенных отходов (Евразийский союз ученых (серия технические науки). 2020. Т. 75, №1. С. 38–46).
12. Хурсанов А.Х., Хасанов А.С., Вохидов Б.Р. Разработка технологии получения аффинированного палладиевого порошка из отработанных электролитов (Горный вестник Узбекистана. 2019. №1(76). С. 58–61).

UO‘K: 622.235

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.35

TYUBEGATAN KONIDA QAZIB OLISHNING KON-TEXNIK SHAROITLARINI BAHOLASH



**Karayev Baxromjon
Mamadiyevich**

*“Dehqonobod kaliy zavodi” AJ ga
qarashli tog’-kon majmuasi,
Dehqonobod, O‘zbekiston*



**Nomdorov Rustam
Uralovich**

*Qarshi davlat texnika universiteti
“Geologiya va konchilik ishi”
kafedrası t.f.f.d., dotsenti,
Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: rustamnmdorov@mail.ru
ORCID ID: 0009-0000-6987-8995*



**Bobomurodov Azamat
Yo‘ldosh o‘g‘li**

*Qarshi davlat texnika universiteti
“Geologiya va konchilik ishi”
kafedrası assistenti,
Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: azamat011993@mail.ru*



**Xasanov Shahzod Rasul
o‘g‘li**

*Qarshi davlat texnika universiteti
“Geologiya va konchilik ishi”
kafedrası assistenti,
Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: Hasanovshaxzod560@gmail.com*

Annotatsiya. Ushbu maqolada Tyubegatan konining kon-texnik va geologik sharoitlari chuqur o‘rganilib, sanoat silvinit qatlamlarini xavfsiz va iqtisodiy jihatdan samarali qazib olish imkoniyatlari tahlil qilinadi. Tadqiqotda qatlamlararo bo‘shliqlar, suvdan himoya qiluvchi qatlamning tuzilishi va qalinligi, qatlamlarning yotqizilish burchagi, tog‘ jinslarining fizik-mexanik xossalari hamda gaz va sho‘r suvlar mavjudligi asosiy baholash mezonlari sifatida olinadi. Razvedka quduqlari va laboratoriya sinovlari asosida qazib olish kameralarining optimal parametrlari aniqlanadi. Suvdan himoya qiluvchi qalinligi va mustahkamlik xususiyatlari, ayniqsa buzilish zonalarida, qazib olish xavfsizligini ta‘minlashda hal qiluvchi omil sifatida ko‘rib chiqiladi. Tadqiqot natijalari konning uzoq muddatli va barqaror ishlatilishini ta‘minlashga xizmat qiladi hamda tog‘-kon tizimining parametrlarini qayta ko‘rib chiqish zaruratini asoslaydi. Shuningdek, geologik-geofizik tadqiqotlarni kengaytirish bo‘yicha ilmiy tavsiyalar keltirilgan.

Kalit so‘zlar: Tyubegatan koni, silvinit, qazib olish tizimi, suvdan himoya qiluvchi qatlam, fizik-mexanik xossalalar.

ОЦЕНКА ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДОБЫЧИ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ТЮБЕГАТАН

**Караяев Бахромджон
Мамадиевич**

*Горнодобывающий комплекс АО
«Дехканабадский калийный
завод», Дехканабад, Узбекистан*

**Номдоров Рустам
Уралович**

*Каршинский государственный
технический университет,
кафедра геологии и горного дела,
PhD, доцент, Карши, Узбекистан*

**Бобомуродов Азамат
Юлдаш угли**

*Ассистент, Каршинский
государственный технический
университет,
Карши, Узбекистан*

**Хасанов Шахзод Расул
угли**

*Ассистент, Каршинский
государственный технический
университет,
Карши, Узбекистан*

Аннотация. В данной статье глубоко изучены горнотехнические и геологические условия Тюбегатанского месторождения и проанализированы возможности безопасной и экономически эффективной добычи промышленных силвинитовых пластов. В исследовании в качестве основных критериев оценки принимаются межпластовые пространства, структура и мощность водозащитного слоя, угол залегания пластов, физико-механические свойства горных пород, а также наличие газа и соленых вод. На основе разведочных скважин и лабораторных испытаний определяются оптимальные параметры добычных камер. Гидроизоляция тол -

щина и прочностные характеристики рассматриваются как решающий фактор обеспечения безопасности разработки, особенно в зонах разрушения. Результаты исследований служат обеспечению долгосрочной и устойчивой эксплуатации месторождения и обосновывают необходимость пересмотра параметров горнодобывающей системы. Также приведены научные рекомендации по расширению геолого-геофизических исследований.

Ключевые слова: Тюбегатанское месторождение, силвинит, система разработки, гидроизоляционный слой, физико-механические свойства.

ASSESSMENT OF MINING AND TECHNICAL CONDITIONS FOR EXTRACTION AT THE TYUBEGATAN DEPOSIT

**Karaev Bakhromjon
Mamadierovich**

Mining complex of JSC
“Dehkanabad Potash Plant”,
Dehkanabad, Uzbekistan

**Nomdorov Rustam
Uralovich**

Karshi State Technical University,
PhD, docent, Karshi, Uzbekistan

**Bobomurodov Azamat
Yuldash ugli**

Karshi State Technical University,
assistant, Karshi, Uzbekistan

**Khasanov Shakhzod
Rasul ugli**

Karshi State Technical University,
assistant, Karshi, Uzbekistan

Abstract. This article presents an in-depth study of the mining-technical and geological conditions of the Tyubegatan deposit, analyzing the possibilities of extracting industrial sylvinit layers in a safe and economically efficient manner. The research considers several key evaluation criteria, including interlayer voids, the structure and thickness of the water-resistant layer, the dip angle of the strata, the physical and mechanical properties of the rocks, and the presence of gas and brine waters. Based on exploration drilling data and laboratory tests, the optimal parameters for the mining chambers are determined. The thickness and strength characteristics of the protective water-bearing layer, especially within fractured zones, are regarded as critical factors in ensuring mining safety. The results of the study contribute to the long-term and stable operation of the deposit and justify the need for re-evaluating the parameters of the mining system. Furthermore, the article provides scientific recommendations for expanding geological and geophysical research.

Keywords: Tyubegatan deposit, sylvinit, mining system, waterproofing layer, physical and mechanical properties.

Kirish. Qazib olinadigan foydali qazilmalar tanasining geologik va texnologik holati konni sanoat darajasida o'zlashtirish imkoniyatlarini belgilaydi. Xususan, Tyubegatan koni tarkibidagi silvinit qatlamlarini iqtisodiy jihatdan samarali qazib olishda kon-texnik va geologik shartlarning aniq o'rganilishi muhim ahamiyatga ega. Ushbu tadqiqot Tyubegatan konining birinchi navbatda o'zlashtiriladigan uchastkasida kon-texnik parametrlarni baholashga qaratilgan.

Konni qazib olishning asosiy kon-texnik sharoitlariga quyidagilar kiradi:

1. Sanoat qatlamlarining tuzilishi, tarkibi va qalinligi;

2. Sanoat qatlamlarini alohida yoki birgalikda qazib olish imkoniyatini hisobga olgan holda qatlamlararo bo'shliqlarning (interplastlarning) tuzilishi, tarkibi va qalinligi;

3. Suvdan himoya qiluvchi qatlamning

tuzilishi va qalinligi;

4. Qazib olish chuqurligi;

5. Jinslarning fizik-mexanik xossalari.

Bundan tashqari, foydali qazilma tanasining morfologiyasi; rudalar va ularni o'rab turgan jinslarning gazga to'yinganligi; tuz qatlamlari ichidagi sho'r suvlarning mavjudligi; qatlamning bevosita tom qismi (ustki qatlami)ning barqarorligi.

Tadqiqot usuli. Tadqiqot jarayonida quyidagi usullar qo'llanildi:

- Geologik-qidiruv natijalari (1959–1965, 2010–2011 yillar): razvedka quduqlari ma'lumotlari, qatlamlarning qalinligi, chuqurligi, yotqizilish burchagi.

- Fizik-mexanik xossalarni aniqlash: “Galurgiya” OAJ geomexanika laboratoriyasida olingan tajriba natijalari asosida.

- Statistik va struktura tahlil usullari: qatlamlararo tafovutlar, KCl kontsentratsiyasi, kon

buzilish zonalarini.

- Kartografik metodlar: suvdan himoya qiluvchi izopaxit xaritalari, qatlamlar qiyaligi va flegsuralarning holati.

Natijalar. Quyi IIA va Quyi IIB qatlamlararo qalinligi g'arbiy yo'nalishda muntazam ravishda kamayib boradi. Tozalash va kon-tayyorlov ishlarini olib borilayotgan uchastkada bu qalinlik 5–9 metrni tashkil qiladi, bu esa boyitish fabrikasining kaliy xlorid (KCl) miqdoriga qo'yilgan 31,93% talablari asosida Quyi IIA qatlamlarini alohida qazib olish imkonini beradi. 47 va 89-sonli burg'ilash quduqlari ma'lumotlariga ko'ra, Quyi IIA va Quyi IIB oralig'ining qalinligi mos ravishda 1,9 metr va 0,8 metrgacha kamaygan. Bundan tashqari, 89-sonli quduqda ishchi zonaga qalinligi 2,5 metr bo'lgan Quyi-I qatlami ham kiradi. Quyi IIA– Quyi-I oralig'i esa qalinligi 1,0 metr bo'lgan tuz-angidrit jinslari bilan ifodalangan. Bu yerda qatlamlarni birgalikda ishlab chiqish talab etiladi, bu esa qatlamlarning ishchi qalinligini 7,6 metr (47-sonli quduq) – 10,05 metr (89-sonli quduq) gacha sezilarli darajada oshiradi va natijada tozalash kameralarining balandligini oshiradi, bu esa qazib olish tizimi parametrlarini qayta ko'rib chiqishni talab qiladi. O'rtacha KCl miqdori 8,7% ni tashkil etadi, bu esa, umuman olganda, yuqori va quyi qavatlardagi silvinit qatlamlarini qatlamlararo bo'lim bilan birgalikda qazib olish imkonini beradi, boyitish fabrikasi tomonidan belgilangan xalqaro standart darajasidagi 23% KCl talablari doirasida. Bu esa zaxiralarning sezilarli darajada ortishiga va, natijada, korxonaning faoliyat muddatining uzayishiga olib keladi. Ishchi qatlamlarning yotqiziq chuqurligi, ya'ni tog' bosimi miqdorini belgilovchi omil, birinchi navbatda qazib olinadigan uchastkada 220 metrdan 800 metrgacha o'zgaradi. Silvinit qatlamlarining tom qismi (ustki qatlami) eng chuqur joylashgan hudud konning g'arbiy qismida, eng ko'tarilgan qismi esa konning markaziy qismining sharqiy qismida kuzatiladi. Razvedka burg'ilash quduqlari ma'lumotlariga ko'ra, qatlamlarning umumiy qulash (yotqizilish) burchagi o'rtacha 14° ni, maksimal darajada esa 21° ni tashkil qiladi. Qazib olish ishlarining natijalariga ko'ra, qatlamlarning yotish burchagi qatlamlar bukilishi (flegsura) rivojlanishi hisobiga 10° dan 30° gacha o'zgaradi. Bunday yotqizilish shakli qatlamlarni qazib olish uchun noqulay sharoit hisoblanadi.

Qazib olinayotgan qatlam, qazib olinayotgan hudud doirasida g'arbiy–janubi-g'arbiy yo'nalishda qiyalik bilan yotadi va unda flegsuralar rivojlangan. Mavjud ma'lumotlarga ko'ra, qatlamning qiyalik burchagi 15° dan 27° gacha o'zgaradi, o'rtacha esa 17° ni tashkil qiladi. Kon hududida tuz usti jinslari butun kesim bo'ylab to'rtlamchi davr yotqiziq-larining yuzasidan to tuzli zaminining yuzasigacha suv bilan to'yinishi mumkin, ayniqsa tik yotuvchi tektonik buzilishlar zonalarida. Buzilishlar hududida suvdan himoyalovchi qatlamning yaxlitligi buzilishi masalasi ochiq bo'lib qolmoqda, holbuki, ushbu zonlardan tashqarida joylashgan tuzli jinslar suv o'tkazmaydigan hisoblanadi. Suvdan himoyalovchi qatlam bu qatlam tom qismidan (ustki chegarasidan) boshlab tuz zamini tomigacha bo'lgan suv o'tkazmaydigan jinslar paketini ifodalaydi. Suvdan himoya qiluvchining quyi chegarasi sifatida Quyi IIA qatlamining tom qismi qabul qilingan. Kon doirasida Suvdan himoya qiluvchi qalinligi 104 metrdan 130 metrgacha o'zgaradi. Suvdan himoya qiluvchining izopaxitlar maydonining tuzilishi, umuman olganda, tuzli qatlamning tom qismining strukturasi bilan yaxshi mos tushadi. Suvdan himoya qiluvchi qalinligi janubi-sharqiy yo'nalishda asta-sekin ortib boradi. 89-sonli quduqda suvdan himoya qiluvchi qalinligi 120,75 m, Bzk-8 quduqda esa 129,80 m ni tashkil etadi. Yanada janubi-sharqqa (tuz qatlamining chekkasiga) qarab suvdan himoya qiluvchi qalinligi keskin 25 m ga kamayadi (masalan, 55-sonli quduqda bu ko'rsatkich 104,1 m ni tashkil etadi).

1-jadval

Konni birinchi navbatda qazib olish uchastkasi doirasidagi asosiy kon-geologik parametrlarning qiymatlari [1,4]

T/r	Qirgim qismlari	Parametrlar, o'lchov birligi	Qiymat		
			Min	Maks	O'rtacha
1	Suvdan himoyalovchi qatlam	Shiftning yotish chuqurligi, m	13,00	685,40	349,20
		Qalinlik, m	104,10	129,80	123,26
2	Silvinit qatlamining ishchi qismi Quyi II	Shiftning yotish chuqurligi, m	117,10	807,65	462,38
		Qalinlik, m	1,55	8,55	4,34
		KO miqdori, %	25,08	41,33	33,55
		N.O. miqdori, %	0,81	4,01	2,45
3	Shift qoplama jinslari	KCl miqdori, %	0,13	18,36	6,26
		N.O. miqdori, %	0,26	61,69	16,93
4	Qatlam osti jinslari	KCl miqdori, %	0,95	12,60	8,02
		N.O. miqdori, %	0,22	22,76	5,65

Tyubegatan koni jinslarining fizik-mexanik

xususiyatlarini o'rganish 1959-65-yillarda olib borilgan geologiya-qidiruv ishlarida amalga oshirilgan [1]. Fizik-mexanik sinovlar hajmi yetarli emas - tuzli jinslarning barcha xususiyatlari va tuz usti kompleksi jinslarining barcha turlari o'rganilmagan: 174 ta namunadan 160 tasi faqat tosh tuzi va silvinitlarning zichligi uchun o'rganilgan (1-jadval).

2-jadval

Tyubegatan koni jinslarining ba'zi fizik-mexanik xossalari [1]

Guruh sinovlar	Koni jinsi	Namuna	Zichlik gr/m ³	σ_{sj} , kg/sm ²
1	Qumtosh,	3	2,50	1266
2	Argillit,	5	2,46	281
3	Tosh tuzi	3	2,06	255
4	Tosh tuzi	81	2,15	-
5	Silvinitlar	79	2,05	-
6	Angidrit	3	2,81	737

SSSR Davlat geologiya qo'mitasi ekspertlari kon jinslarining fizik-mexanik xususiyatlari yetarli darajada o'rganilmaganini ta'kidlagan. Biroq keyingi geologiya-qidiruv ishlarida mazkur xususiyatlarni tizimli o'rganish amalga oshirilmagan [2].

3-jadval

Tog' jinslarining siqilishdagi mustahkamlik chegarasining tavsiya etilgan qiymatlari [1]

Qatlam	Namuna raqami	Tog' jinsi	Siqilishdagi tajribaviy mustahkamlik chegarasi, σ_{sj} , MPa	Siqilishdagi tavsiya etilgan mustahkamlik chegarasi, σ_{sj} , MPa
12	1034	Yirik-gigant donali tosh tuz	24,83	24,83
Quyi III	1035	Silvinit rang-barang, yirik-gigant donali	22,60	22,60
Quyi II-III	1036	Yirik donali, gilli tosh tuzi	22,68	22,73
	1037	O'rta-yirik donali tosh tuz	26,88	
	1038	Yirik-gigant donali, kuchli gilli tosh tuzi	15,88	
	1039	Yirik-gigant donali shpatli tosh tuz	23,62	
Quyi II, a qatlam	1040	Silvinit qo'shilgan gil-angidrit qatlami	28,38	23,20
	1040	Tosh tuzining yupqa qatlamlari bilan brekchevidli teksturali silvinit	22,67	
	1041	Tosh tuzi qatlamchalari bo'lgan brekchevid teksturali silvinit	22,82	
Quyi II, a-b qatlam	1042	Ulkan donali, yarim shaffof, shpatli tosh tuzi	22,02	22,02
Quyi II, b qatlam	1043	Silvinit o'rtaacha - yirik donali, massiv	23,55	23,55

Kon kesmasi siyrak angidrit qatlamchalari hamda kambag'al silvinit qatlamchalari bilan

aralash tosh tuzidan tarkib topgan. Angidrit qatlamlarining qalinligi kichikligi va ularning kesma bo'yicha sanoat qatlamidan (o'nlab metr) ancha uzoqda joylashgani, shuningdek boshqa qatlamlardagi silvinitlarning kambag'alligi, ularni fizik-mexanik xususiyatlari bo'yicha bir xil deb hisoblash imkonini beradi. "Galurgiya" OAJ geomexanika laboratoriyasida silvinitning mustahkamlik xossalari bo'yicha o'tkazilgan sinov natijalari ham Quyi II qatlamning fizik-mexanik xususiyatlari jihatidan bir xilligi haqidagi xulosani qo'llab-quvvatlaydi.

2010-2011-yillarda sanoat qatlami kon lahimlari bilan ochilgach, tog' jinslarining fizik-mexanik xususiyatlarini aniqlash bo'yicha sinovlar davom ettirildi. Ushbu sinovlar natijalari "Galurgiya" OAJ geomexanika laboratoriyasi tomonidan taqdim etilgan xulosada batafsil yoritilgan. Mazkur xulosaga muvofiq, 3-jadvalda sanoat qatlami jinslari va qamrovchi jinslar uchun qazib olish tizimi parametrlarini hisoblashda tavsiya etiladigan mexanik tavsiflar keltirilgan.

Muhokama. Tyubegatan konida qatlamlararo qatlamlarning kamayishi, qatlamlar morfologiyasining murakkabligi va buzilishlar mavjudligi qazib olish ishlarini qiyinlashtiradi. Shu bilan birga, qazib olish chuqurligi va Suvdan himoya qiluvchining yetarli qalinligi texnologik jihatdan konni samarali o'zlashtirishga imkon beradi. Gaz to'yinganligi va sho'r suvlarning mavjudligi xavfsizlik choralari kuchaytirishni talab etadi.

Qatlamlararo qalinlik va morfologik tafovutlarni inobatga olgan holda qazib olish kameralarining balandligi va qazib olish tizimi parametrlarini qayta ko'rib chiqish zarur. Shuningdek, mavjud geofizik ma'lumotlarni aniqlashtirish maqsadida qo'shimcha razvedka ishlarini olib borish tavsiya etiladi.

Xulosa. Tyubegatan konida qazib olishning kon-texnik shartlari umuman olganda murakkab, biroq ularni chuqur tahlil qilish va optimal qazib olish tizimini tanlash orqali kon resurslaridan samarali foydalanish mumkin. Tavsiya etiladigan chora-tadbirlar quyidagilardan iborat:

- Suvdan himoya qiluvchi qatlam holatini batafsil aniqlash;
- Qatlamlarning fizik-mexanik xossalari to'liq tadqiq etish;
- Flegsura zonalarida maxsus mustahkamlash

usullarini ishlab chiqish;

- Kon parametrlarini qayta hisoblash orqali
ekspluatatsiya xavfsizligini oshirish.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Геологические исходные данные для проектирования горнодобывающего комплекса Дехканабадского завода калийных удобрений. Пермь: ООО НПФ «Геопрогноз», 2007.
2. Геомеханические исходные данные для проектирования отработки Тюбегатанского месторождения калийных солей. Пермь, 2008.
3. Ўзбекистон Республикаси “Ер тўғрисида”ги қонуни. 13 декабр 2002.
4. Технология отвальных работ и рекультивация на месторождениях. Москва: Недра, 1979. – 262 с.

УДК: 669.21/.23

 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.5

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИОНООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ МОЛИБДЕНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



**Вохидов Бахриддин
Рахмидинович**

Навоийский государственный и
горно-технологический
университет, доктор
технических наук, профессор,
Навои, Узбекистан



**Эшонкулов Учкун
Худайназар угли**

д.ф.т.н., доц. Қаршинский
государственный технический
университет,
Қарши, Ўзбекистан
ORCID ID: 0009-0002-8415-7218



**Рустамов Исломжон
Илхомович**

Университет информационных
технологий и менеджмента,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В статье рассмотрено современное состояние и перспективы развития ионнообменных процессов в гидрометаллургии молибдена. Проведен анализ извлечения полиионных форм молибдена, формирующихся в кислой среде, с применением высокоселективных ионитов. Подробно рассмотрены процессы формирования фронта равных концентраций в слое ионита, кинетические параметры сорбции, а также конструктивные особенности и принципы действия различных типов сорбционных аппаратов, включая колонны СНК и пачуки. Отдельное внимание уделено безфильтрационному сорбционному выщелачиванию из пульпы, внедренному в ведущих предприятиях отрасли, и его высокой эффективности.

Ключевые слова: молибден, гидрометаллургия, ионный обмен, ионит, сорбция, десорбция, полиионы, гидрометаллургический процесс, кинетика сорбции, слой ионита, фронт концентрации, ионнообменный аппарат.

MOLIBDEN SANOATINING TEXNOGEN CHIQINDILARIDAN QIMMATBAHO METALLARNI AJRATIB OLISHDA ION ALMASHINUV JARAYONLARINI QO‘LLASH ISTIQBOLLARI

**Vaxidov Bahriddin
Raxmidinovich**

Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti, texnika
fanlari doktori, professor,
Navoiy, O‘zbekiston

**Eshonqulov Uchqun
Xudaynazar o‘g‘li**

t.f.f.d., dots. Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

**Rustamov Islomjon
Ilhomovich**

Axborot texnologiyalari va
menejment universiteti,
Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya. Maqolada molibden gidrometallurgiyasida ion almashinish jarayonlarining hozirgi holati va rivojlanish istiqbollari ko‘rib chiqilgan. Yuqori selektiv ionitlar yordamida kislotali muhitda hosil bo‘ladigan molibdenning poliion shakllarini ajratib olish tahlil qilingan. Ionit qatlamida teng konsentratsiyali frontning shakllanish jarayonlari, sorbsiyaning kinetik parametrlari, shuningdek, turli xildagi sorbsion qurilmalarning, jumladan, SNK kolonnalari va pachuklarning konstruktiv xususiyatlari va ishlash tamoyillari batafsil ko‘rib chiqilgan. Tarmoqning yetakchi korxonalarida joriy etilgan bo‘ta-

nadan filtrsiz sorbsion tanlab eritmaga o'tkazish va uning yuqori samaradorligiga alohida e'tibor qaratilgan.

Kalit so'zlar: molibden, gidrometallurgiya, ion almashinish, ionit, sorbsiya, desorbsiya, poliionlar, gidrometallurgik jarayon, sorbsiya kinetikasi, ionit qatlami, konsentratsiya fronti, ion almashinish apparati.

PROSPECTS FOR APPLYING ION-EXCHANGE PROCESSES IN THE EXTRACTION OF PRECIOUS METALS FROM TECHNOGENIC WASTE OF THE MOLIBDENE INDUSTRY

**Vokhidov Bakhridin
Rakhmidinovich**

Navoi State Mining and
Technological University, Doctor of
Technical Sciences, Professor,
Navoi, Uzbekistan

**Eshonkulov Uchkun
Khudaynazar ugli**

PhD, doc. Karshi State Technical
University, Karshi, Uzbekistan

**Rustamov Islomjon
Ilkhomovich**

University of Information
Technology and Management,
Tashkent, Uzbekistan

Abstract. This article explores the current state and development prospects of ion exchange processes in the hydrometallurgy of molybdenum. The study analyzes the sorption behavior of polyionic molybdenum complexes formed in acidic media and their selective extraction using specialized ion-exchange resins. The dynamics of ion concentration front formation, the kinetics of sorption processes, and the operating principles of various ion exchange apparatus (such as sorption columns, SNK, and Pachukas) are examined in detail. Moreover, the article presents the advantages and efficiency of pulp-based filtration-free leaching sorption technologies already implemented in industry.

Keywords: molybdenum, hydrometallurgy, ion exchange, ionite, sorption, desorption, polyions, hydrometallurgical process, sorption kinetics, ionite layer, concentration front, ion-exchange apparatus.

Введение. На сегодняшнем этапе развития гидрометаллургии редких и благородных, широко и успешно применяются ионообменные процессы извлечения молибдена из различных молибден содержащих продуктивных растворов и промышленных стоков. Научным обоснованием внедрения ионообменных процессов в переработке продуктивных растворов является образование в кислой среде различных полиионов молибдена.

Известно, что полиионы избирательно сорбируются ионообменными смолами, выбор ионита зависит от сдержания извлекаемого металла, солевого состава раствора, условий проведения процесса, а также физико-химических и механических свойств ионита и качества получаемого конечного продукта [1-3].

Материалы и методы. Исходя из приведенного аналитического обзора литературы можно сделать вывод о том, что исследования по интенсификации процессов сорбционного извлечения молибдена и рения из различных промышленных растворов является

перспективным.

Благодаря научно-техническому прогрессу в совершенствовании гидрометаллургических способов переработки руд и концентратов редких и благородных металлов успешно внедряются новые современные ионообменные процессы и аппараты в ведущих компаниях мирового бизнеса. Разработки с применением ионообменных процессов внедрены в области извлечения редких металлов из разбавленных, сбросных растворов, а также синтезированные иониты имеют высокую селективность к извлекаемому металлу и емкостные характеристики. Создана и работает целая отрасль по синтезу и производству ионообменных смол различной марки.

Из литературных источников известно, что глубоко изучены сорбционные процессы, так же физико-химические свойства ионообменных смол и влияние различных факторов на процесс сорбции извлекаемых металлов. В сорбционных технологиях весьма, важную роль играют статические факторы процесса (параметры

ионообменного равновесия), кинетические факторы (скорость обмена) и скорость движения раствора. Одновременный их учет дает так называемую динамику сорбции. В динамических условиях представляется два периода сорбции: 1) периоде формирования фронта равных концентраций, $\tau_{\text{пар}}$ (рис.1). фронта равных концентраций (работающего слоя) τ_0 ; 2) периоде параллельного переноса

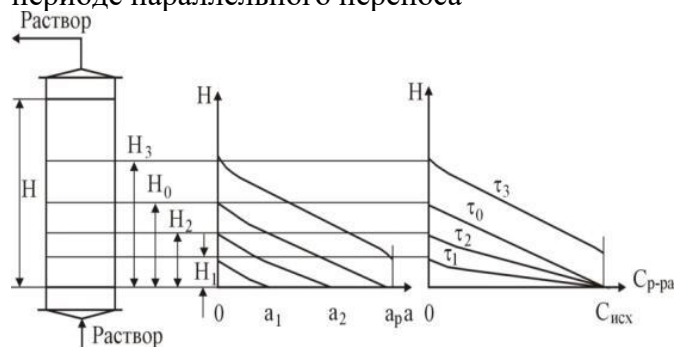


Рис.1. Схема формирования фронта равных концентраций в неподвижном слое ионита.

Согласно рис. 1., в момент времени τ_1 начальный слой ионита насыщен поглощаемым ионом до емкости a_1 , а проскок извлекаемого иона наблюдается при высоте слоя ионита менее H_1 , при τ_2 начальный слой ионита насыщен до емкости a_2 , проскок происходит в слое ионита менее H_2 , наконец, при времени τ_0 начальный слой ионита насыщен до емкости a_p , равновесной с исходной концентрацией раствора $C_{\text{исх}}$, в слое ионита высотой H_0 концентрация извлекаемого иона изменяется от $C_{\text{исх}}$ до 0 [2].

Рабочий слой ионита (H_0) сформирован. Далее происходит параллельный перенос образованного фронта концентраций. К моменту времени τ_3 до равновесной емкости насыщен слой ионита H_1 , проскок наблюдается при высоте слоя ионита менее H_3 .

Полное время (τ) работы слоя ионита высотой H будет равно сумме времени формирования фронта концентраций (τ_0) и времени параллельного переноса фронта концентраций ($\tau_{\text{пар}}$):

$$\tau = \tau_0 + \tau_{\text{пар}} = \tau_0 + (H - H_0)/U$$

где, U – скорость перемещения фронта концентраций, ее величина определяется равновесной емкостью ионита, скоростью

течения раствора и исходной концентрацией извлекаемого вещества в растворе.

Величина, обратная скорости параллельного передвижения фронта $K=1/U$ называется коэффициентом защитного действия и представляет собой время, в течение которого слой ионита высотой l м полностью насыщается извлекаемым веществом. Для определения времени защитного действия слоя ионита нужно найти высоту рабочего слоя ионита H_0 .

При внешне диффузионной кинетике процесса скорость изменения концентрации извлекаемого вещества в растворе по высоте рабочего слоя ионита описывается уравнением:

$$dC/d\tau = -\beta_1(C - C_{\text{пр}})$$

где, β_1 – кинетический коэффициент внешней диффузии, $C_{\text{пр}}$ – концентрация извлекаемого вещества в растворе при проскоке, близкая к нулю.

Таким образом, время защитного действия слоя ионита находят из уравнения:

$$\tau = \frac{a_p}{\omega \cdot C_{\text{исх}}} \cdot H - \frac{a_p}{\beta_1 C_{\text{исх}}} \left(\ln \frac{C_{\text{исх}}}{C_{\text{пр}}} - 1 \right)$$

Причины появления потери времени защитного действия, следующие:

1) ионообменное равновесие устанавливается не мгновенно, часть извлекаемого вещества, не успев насытить первый слой, поглощается в последующих;

2) наблюдается канальный проскок раствора, связанный с неравномерностями укладки зерен ионита;

3) «стеновой» эффект – более быстрое продвижение потока у стенок

Исследование вышеизложенных факторов, влияющих на эффективность протекания ионообменных процессов, является теоретической основой при разработке технологических процессов ионного обмена, выбора сорбента и типа конструкции аппаратов и сорбционных колонн.

Извлечение металлов из растворов может производиться как периодически, так и непрерывно. На рисунке 2 изображено устройство ионообменной колонны периодического действия.

Когда раствор пропускается последовательно через 1, 2 и 3 колонны, 4-я колонна находится на регенерации смолы. Перед

наступлением проскока урана из 3-й колонны исходный раствор перемещается на 2-ю колонну, за 3-й колонной подключается 4-я со свежерегенерированной смолой, а 1-я колонна ставится на регенерацию.



Рис.2. Ионообменная колонна периодического действия:

1 – верхняя гребенка; 2 – нижняя гребенка; 3 – гравий;
 4 – слой ионита.

Данная колонна может работать только на растворах и не годится для переработки пульпы. Основным недостатком этой системы является периодичность процесса, необходимость проведения соответствующих переключений потоков, которые производятся чаще, чем выше солесодержание перерабатываемых растворов. Поэтому такие колонны остались там, где переключения потоков проводятся реже, например, для обессоливания морской/речной воды на АЭС, для обезвреживания сточных вод с малым солесодержанием. Далее приводим принцип работы сорбционной колонны СНК (рисунок 3) [5-6].

Исходный раствор под давлением подается в нижнюю часть колонны и продвигается вверх навстречу потоку смолы. В верхней части колонны раствор проходит фильтрующие

патроны, которые задерживают смолу, направляется на дальнейший передел переработки.

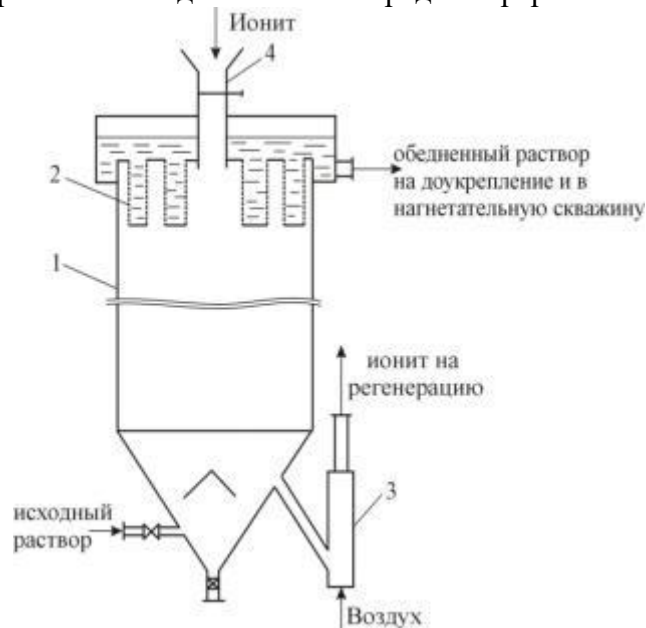


Рис.3. Сорбционная колонна (СНК):

1 – корпус; 2 – фильтры; 3 – аэролифт; 4 – загрузочный бункер ионита.

При работе колонны в ней одновременно находятся три слоя ионита. В верхней части колонны – слой свежего ионита, который обеспечивает снижение концентрации до установленного значения, в средней части колонны формируется фронт рабочих концентраций, высота фронта зависит от емкости ионита, концентрации металла в продуктивном растворе, скорости движения раствора (25–35 м/час), она составляет 5–6 м. В нижней части колонны собирается слой насыщенного ионита. Колонна работает в полунепрерывном режиме. Периодически при кратковременном прекращении подачи исходного раствора в аэролифт подается воздух и из колонны перегружается определенная порция насыщенного ионита, которая направляется на десорбцию. После этого в колонну загружается свежая смола объемом, равным объему перегруженной порции. После этого возобновляется подача исходного раствора в колонну. При этих операциях фронт рабочих концентраций удерживается в средней части колонны.

В производстве гидрометаллургии редких металлов успешно внедрены сорбционные процессы в противоточных колоннах со

взвешенным слоем смолы в непрерывном режиме – в каскаде сорбционных напорных колонн (СНК). Эти колонны успешно работают в Карабалтинском ГМК (производство оксида молибдена), в ТОО «Джезказганредмет» (производство солей аммония ренийевокислого), на НПО АО «Алмалыкский ГМК» (производство оксида молибдена, вольфрама и рения), ТОО Степногорский ГХК (производство оксида молибдена). Известно, для извлечения урана из автоклавной пульпы содового выщелачивания урана в Степногорске применены ионообменные колонны - пачуки (рисунок 4).

Результаты. Ионообменный пачук представляет собой цилиндрический аппарат диаметром 3–6 м и высотой 10–20 м. В нижней части находится коническое днище с углом конуса 60° для предотвращения накопления твердых частиц на днище. Для обеспечения взвешенного состояния пульпы и смолы устанавливается циркулятор с воздушораспределителем. Диаметр циркулятора составляет 10–20% от диаметра пачука, высота циркулятора – до 1/3 высоты слоя пульпы, нижний край циркулятора устанавливается на расстоянии не более 0,5 м от низа аппарата. Для перемешивания смолы и пульпы в циркулятор подается воздух в количестве 4 – м³/час на каждый кубометр пульпы. Для организации противоточного движения смолы и пульпы в верхней части пачука устанавливаются дренажные сетки, на которые с помощью аэролифтов подается смесь смолы и пульпы. Раствор с твердыми частицами пульпы проходит через сетки в ящики, откуда самотеком перемещается в следующий аппарат [3,5,7].

Частички смолы скатываются с сетки обратно в аппарат или в желоб, откуда перемещаются в другой аппарат навстречу потоку пульпы. Количество сеток, работающих на выдачу пульпы и смолы, определяется отношением времени пребывания пульпы и смолы в аппарате. В каскаде «сорбции» устанавливаются 8–12 ионообменных пачуков, в каскаде «десорбции» – или 4–6 пачуков меньшего размера. Между каскадами «сорбции» и «десорбции» устанавливаются промывные колонны с противоточным движением смолы и

воды. Промывные воды, снимающие пленки исходной пульпы со смолы, возвращаются на «сорбцию», а промывные воды, снимающие со смолы пленки «десорбирующего» раствора, используются для приготовления исходных пульп.

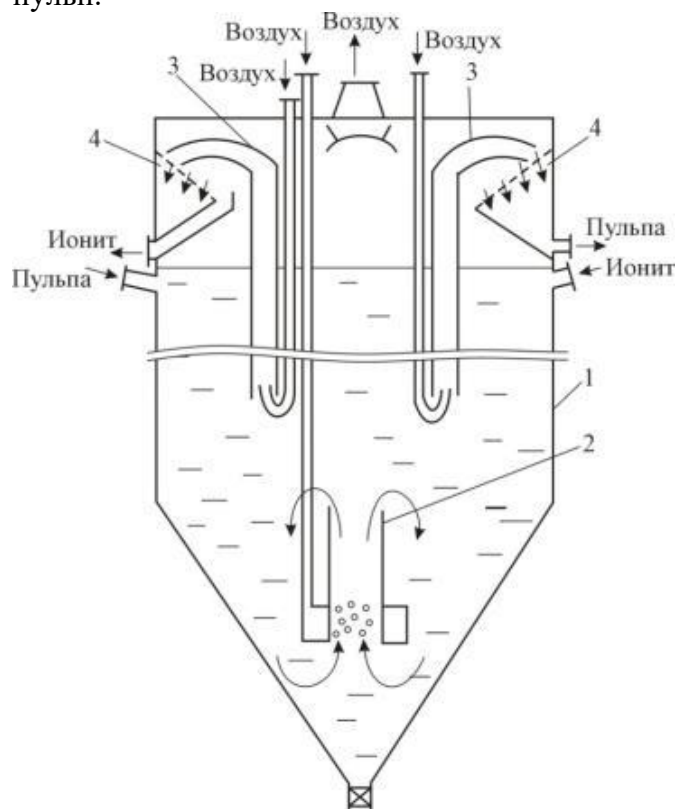


Рис.4. Ионообменный пачук:

1 – корпус; 2 – дефлектор; 3 – аэролифты; 4 – грохоты.

Внедрение процесса сорбции из пульп позволило на 5–10% повысить извлечение металлов, снизить в 2–3 раза энергозатраты, в 3–4 раза повысить производительность труда, сэкономить в большом количестве фильтрующие ткани и в несколько раз увеличить мощность предприятий. Эффективность сорбции из пульп значительно возрастает при совмещении процессов сорбции и выщелачивания. При введении ионита на стадии выщелачивания повышается извлечение ценных компонентов, существенно сокращается общее время обработки рудного материала, так как одновременно протекает перевод извлекаемого металла в раствор с дальнейшей сорбцией металла в ионит.

После разделения ионита от пульпы рудного материала на отсадочных аппаратах из

насыщенного сорбента десорбируют металл в колоннах СНК, регенерированный сорбент возвращают в голову процесса сорбционному выщелачиванию в пульпе. Этот уникальный процесс назван академиком РАН Б.Н.Ласкорином «Безфильтрационное выщелачивание руд редких металлов и золота». Процесс внедрен на предприятиях Росатома и ТОО ЦГХК (СГХК) при переработке урановых руд, а также на ГП «Навоийский ГМК» при переработке золотых руд.

Заключение. Таким образом, использование ионнообменных процессов в гидрометаллургии молибдена представляет собой эффек-

тивное и перспективное направление для извлечения ценных металлов из растворов и пульп. Научное обоснование применяемых методов, широкая вариативность аппаратов (от периодических колонн до непрерывных сорбционных систем), а также внедрение новых технологий, таких как безфильтрационное выщелачивание, значительно повышают экономическую эффективность и экологическую безопасность производства. Современные разработки в области синтеза ионитов с высокой селективностью открывают новые горизонты для дальнейшей интенсификации и автоматизации процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хакимов, К. Ж., Каюмов, О. А. У., Эшонкулов, У. Х. У., & Соатов, Б. Ш. У. (2020). ТЕХНОГЕННЫЕ ОТХОДЫ-ПЕРСПЕКТИВНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ УЗБЕКИСТАНА В ОЦЕНКЕ ОТВАЛЬНЫХ ХВОСТОВ ФИЛЬТРАЦИИ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД. *Universum: технические науки*, (12-1 (81)), 54-59.
2. Djurayevich, K. K., Kxudoynazar O'g'li, E. U., Sirozhevich, A. T., & Abdurashidovich, U. A. (2020). Complex Processing Of Lead-Containing Technogenic Waste From Mining And Metallurgical Industries In The Urals. *The American Journal of Engineering and Technology*, 2(09), 102-108.
3. Шодиев, А. Н. У., Туробов, Ш. Н., Саидахмедов, А. А., Хакимов, К. Ж., & Эшонкулов, У. Х. У. (2020). Исследование технологии извлечения редких и благородных металлов из сбросных растворов шламового поля. *Universum: технические науки*, (5-1 (74)), 37-40.
4. Эшонкулов, У. Х. У., Олимов, Ф. М. У., Саидахмедов, А. А., Туробов, Ш. Н., Шодиев, А. Н. У., & Сирожов, Т. Т. (2018). Обоснование параметров контурного взрывания при сооружении горных выработок большого сечения в крепких породах. *Достижения науки и образования*, (19 (41)), 10-13.
5. Хакимов, К. Ж., Эшонкулов, У. Х., & Умирзоков, А. (2020). Complex Processing Of Lead-Containing Technogenic Waste From Mining And Metallurgical Industries In The Urals. *THE AMERICAN JOURNAL OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY (TAJET) SJIF-5.32 DOI-10.37547/tajet*, 2(9), 2689-0984.
6. Турдиев, Ш. Ш., & Эшонкулов, У. Х. (2023). ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СОСТАВОВ ЦИНКОВЫХ ОТХОДОВ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКЕ. *Наука и технология в современном мире*, 2(18), 28-32.
7. Nasirov, U., Umirzokov, A., Nosirov, N., Fatkhiddinov, A., Eshonkulov, U., & Kushnazorov, I. (2024). Study of the Production and Efficiency of Variable and Loading Equipment in the Mining of Minerals. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 491, p. 02022). EDP Sciences.

UO‘K: 622.235.5

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.29

PORTLOVCHI MODDALARNING DETONATSIYALANISHIDA TO‘LQINLAR HAMDA BOSIM FAZASI VA ULARNING AHAMIYATI



**Hayitov Odiljon
G'ofurovich**

g.-m.f.d DSc, Islom Karimov
nomidagi TDTU “Konchilik ishi”
kafedrasi professori,
Toshkent, O'zbekiston
E-mail: o_hayitov@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-7735-5980



**Gulmurodov Javohir
Nuriddin o'g'li**

Islom Karimov nomidagi TDTU
“Konchilik ishi” kafedrasi
doktoranti, Toshkent, O'zbekiston
E-mail: javohirayyub@gmail.com
ORCID ID: 0009-0003-0076-4625



**Karamov Alisher
Nazarbaevich**

Islom Karimov nomidagi TDTU
“Konchilik ishi” kafedrasi
doktoranti, Toshkent, O'zbekiston
E-mail:
alisherkaramov925@gmail.com
ORCID ID: 0009-0000-9162-2419

Annotatsiya. Tog' jinslarini burg'ilab portlatish yo'li bilan ajratib olish (maydalash) eng optimal usullardan hisoblanadi bunda portlovchi modda energiyasi uning zarba to'lqini kuchi va skvajina devorlariga bo'lgan bosimi tog' jinsining maydalanish darajasini belgilovchi asosiy omillardan sanaladi. Portlovchi modda va portlash jarayonini analitik ravishta o'rganish uni chuqur talqin qilish yuqorida sanab o'tilgan portlovchi moddaning fizik – mexanik xususiyatlarini yanada optimallashtirish usullarini yoki mavjud usullardan yanada kengroq va unumliroq foydalanishga yordam beradi. Ushbu holatda portlashda yuzaga keladigan to'lqinlar va ularning ahamiyatini o'rganish va kengroq tadbiq qilish muhim omillardan sanaladi. Portlash jarayoni fizik va kimyoviy jihatdan murakkab jarayon hisoblanadi, portlashda tog' jinslarini maydalovchi dinamik va termodinamik kuchlarning dastlab to'lqinlar shaklida namoyon bo'lishi so'ngra esa bosim profillarini shakllantirgani sababli ularni o'rganish portlash jarayonining asosiy mohiyati sanaladi.

Kalit so'zlar: Portlovchi modda, detonatsiyalanish, zarba to'lqini, C – J chegarasi, kimyoviy reaksiya chegarasi, ZND, tovush tezligi nuqtasi, to'lqin fronti.

ВОЛНЫ И ФАЗА ДАВЛЕНИЯ ПРИ ДЕТОНАЦИИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ

**Хайитов Одилжон
Гафурович**

д.г.-м.н. DSc, профессор кафедры
«Горное дело» ТГТУ имени Ислам
Каримов, Ташкент, Узбекистан

**Гулмуродов Жавахир
Нуриддин угли**

Докторанту кафедры «Горное
дело» ТГТУ имени Ислама
Каримова, Ташкент, Узбекистан

**Карамов Алишер
Назарбаевич**

Докторанту кафедры «Горное
дело» ТГТУ имени Ислама
Каримова, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Добыча (дробление) горных пород буровзрывным способом является одним из наиболее оптимальных методов, при котором энергия взрывчатого вещества, сила его ударной волны и давление на стенки скважины являются основными факторами, определяющими степень дробления горной породы. Аналитическое изучение и глубокое осмысление взрывчатого вещества и процесса взрыва способствуют дальнейшей оптимизации вышеуказанных физико-механических свойств взрывчатого вещества, а также более широкому и эффективному использованию существующих методов. В этой связи изучение волн, возникающих при взрыве, их значения и более широкое применение являются важными факторами. Процесс взрыва представ-

ляет собой сложное физико-химическое явление, при котором динамические и термодинамические силы, дробящие горные породы, сначала проявляются в виде волн, а затем формируют профили давления, поэтому их изучение составляет основную суть процесса взрыва. **Ключевые слова:** Взрывчатое вещество, детонация, ударная волна, граница Чепмена–Жуге (C–J), граница химической реакции, ZND, точка звуковой скорости, фронт волны.

THE SIGNIFICANCE OF WAVE PROPAGATION AND PRESSURE PHASE IN EXPLOSIVE DETONATION PROCESSES

**Hayitov Odiljon
Gafurovich**

DSc, Professor of the Department
of "Mining" of the Tashkent State
Technical University named after
Islam Karimov,
Tashkent, Uzbekistan

**Gulmurodov Javohir
Nuriddin ugli**

Doctoral student of the Department
of "Mining" of the Tashkent State
Technical University named after
Islam Karimov,
Tashkent, Uzbekistan

**Karamov Alisher
Nazarbaevich**

Doctoral student of the Department
of "Mining" of the Tashkent State
Technical University named after
Islam Karimov,
Tashkent, Uzbekistan

Abstract. Rock fragmentation by means of drilling and blasting is considered one of the most optimal methods. In this process, the explosive energy—particularly the strength of its shock wave and the pressure exerted on the borehole walls—is among the key factors determining the degree of rock fragmentation. An analytical study and deeper interpretation of the explosive and blasting process help in optimizing the physical and mechanical properties of the explosive or in expanding and improving the efficiency of existing methods. In this context, the study and broader application of the waves generated during blasting and their significance are crucial factors. The blasting process is a physically and chemically complex phenomenon, in which the dynamic and thermodynamic forces that fragment rock initially manifest as waves and subsequently form pressure profiles; thus, studying them is essential to understanding the core essence of the blasting mechanism.

Keywords: Explosive, detonation, shock wave, Chapman–Jouguet (C–J) point, chemical reaction zone, ZND model, sonic point, wave front.

Kirish. Ma'lumki, portlovchi moddalarning asosiy xususiyatlarini belgilovchi omillardan biri ularning detonatsiyalanish tezligi va kimyoviy reaksiyalar natijasida hosil bo'ladigan skvajinadagi (quduqdagi) bosimdir [1, p. 14–16; 2, p. 738]. Ummuman olganda, portlash — kimyoviy jarayonning keskinlashib fizik jarayonga o'tishi natijasidir. Ya'ni, dastlab portlovchi moddada oksidlanish reaksiyalari boshlanadi; modda tanasida kimyoviy reaksiyalar (termodinamik sharoitda) kechishi natijasida ma'lum to'liqlar shakllanadi, bu esa bosimning ortishiga olib keladi; shu jarayonlar oqibatida bizga ma'lum bo'lgan portlash yuz beradi [3, p. 122; 4, p. 161]. To'liqlarning har biri jarayon bosqichlarini bir-biridan ajratib turuvchi "chegara devori" sifatida namoyon bo'lib, ularni yanada chuqurroq o'rganishga turtki beradi.

Detonatsiya boshlanishi bilan portlovchi modda ichida kechadigan hodisalar muayyan to'liq frontlari bilan chegaralanadi. Masalan, kimyoviy

reaksiya borayotgan sohaning chegarasi Chapman–Jouguet (C–J) chizig'i bilan ifodalanadi; ushbu chiziqdan keyin detonatsiya to'liqini rivojlanadi. Ushbu maqolada portlashni yuzaga keltiruvchi asosiy omillar, detonatsiya va uning to'liq frontlari hamda bosim shartlari haqida batafsil va fundamental qarashlar bayon etiladi.

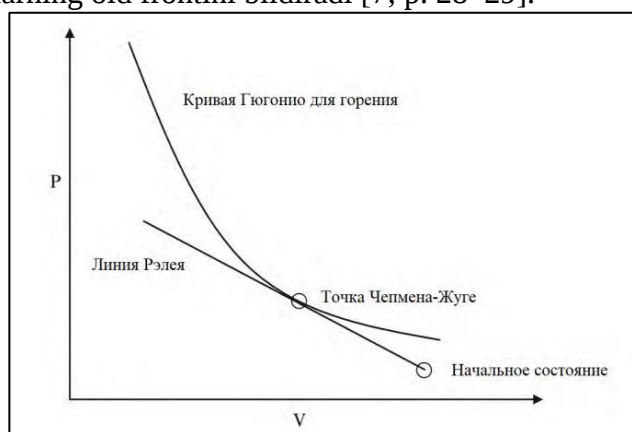
Metodologiya. Portlash jarayonini analitik tahlil qilib, aniq va qat'iy xulosa bildirish oson emas, chunki hatto detonatsiya jarayonining o'zi ham nihoyatda murakkab termodinamik hodisa bo'lib, bir qator boshqa fizik jarayonlarni ham qamrab oladi. Soniyasiga 3000–8000 m tezliklarda kechadigan ushbu jarayonda bosim profili, to'liq frontlari va ularning turlarini chuqur tadqiq etish yuqori darajadagi hisob-kitoblar hamda ilg'or texnologiyalarni talab etadi. Yillar davomida detonatsiya hodisasini tavsiflash uchun Becker–Kistiakowsky–Wilson (BKW), Lennard–Jones–Devonshire (LJD) va Jacobs–Cowperthwaite–

Zwisler (JCZ) kabi ko‘plab modellar va nazariyalar taklif etilgan, biroq ularning aksariyatining mazmun-mohiyati umumiy tamoyillarga tayanadi [5, p. 119]. Xususan, keng qo‘llanadigan Chapman–Jouguet (C–J) hamda Zeldovich–Neumann–Döring (ZND) nazariyalari detonatsiya jarayoni va to‘lqin fazalari haqida asosiy tasavvurlarni beradi.

Detonatsiyalanish to‘lqini va zarba to‘lqini.

Detonatsiyalanish – portlovchi modda tashqi ta’siri (masalan, alanga) oqibatida unda kimyoviy reaksiya boshlanishi bo‘lib, portlash hodisasidan sal oldin, soniyaning ulushlarida kechadigan murakkab jarayondir. Detonatsiya to‘lqini esa aynan detonatsiyalanish chegarasidagi umumiy to‘lqin va uning frontlari majmuasidir; ular zarba to‘lqini, kimyoviy reaksiya zonasi hamda tovush tezligi nuqtasi (sonic point) kabi chegaralarni o‘z ichiga oladi [6; p. 53–54]. Zarba to‘lqini – reaksiya zonasidan keyin kuzatiladigan, yuqori zichlik va bosimga ega gazlar to‘lqinidir.

C–J (plane) chegarasi. C–J chizig‘i Chapman (1899) va Jouguet (1905) tomonidan ishlab chiqilgan bo‘lib, detonatsiya jarayonida kimyoviy reaksiyaning yakunlanish nuqtasidagi termodinamik va gazdinamik to‘lqin chegarasini ifodalaydi. Ya’ni portlovchi moddada detonatsiya boshlangach, ortiqcha kislorod va yuqori harorat ta’sirida kimyoviy reaksiya kechadi; natijada yuqori bosim va temperaturadagi to‘lqin energiyasi shakllanadi. C–J chegarasi aynan shu jarayonlarning old frontini bildiradi [7; p. 28–29].



1-rasm. Ruxsat etilgan termodinamik holatda Gyugonio egri chizig‘idagi Chapman–Juge nuqtasining joylashishi [10; 10 – 11 b].

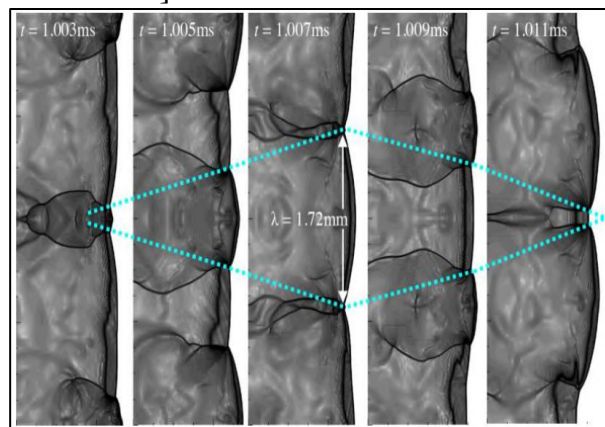
Detonatsiya davomida frontning old qismida reaksiyalanmagan molekullar, undan keyin esa

reaksiyalanish natijasida yuzaga kelgan detonatsiya to‘lqini va yuqori bosimli zona joylashadi; ularning ajratuvchi old zonasi — C–J chegarasidir. Qisqa qilib aytganda, C–J chegarasi detonatsiyada kimyoviy reaksiya yakunlanib, zarba to‘lqini mahsulotlari (gazlar) mahalliy tovush tezligida ajralib chiqadigan nuqtani ifodalaydi [8; p. 1–2; 9; p. 2].

Bunda:

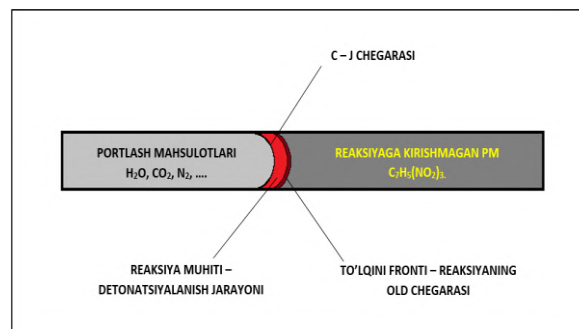
- Gyugonio chizig‘i barcha mumkin bo‘lgan yakuniy termodinamik holatlar;
- Reley chizig‘i detonatsiyalanish tezligiga bog‘liq impuls muvozanati.

Detonatsiyaning yuzaga kelishi va rivojlanishining fizik tabiati hali to‘liq o‘rganilmagan. Gazdinamik parametrlarning katta gradientlari hamda detonatsiya to‘lqini ortidagi murakkab oqim manzarasi bu jarayonni eksperimental va nazariy jihatdan tadqiq etishni qiyinlashtiradi. Gazdagi detonatsiya to‘lqinlarini eksperimental o‘rganish usullari va natijalari R. I. Solouxin (1969) ishida yoritilgan; unda detonatsiya to‘lqini fronti beqaror bo‘lib, tekis sirt emas, balki doimo bir-biriga o‘tib, shaklini o‘zgartirib turadigan zarba to‘lqinlarining uch nuqtali (triple-point) konfiguratsiyalari kombinatsiyasidan iborat ekani ko‘rsatiladi. Ma’lum paytlarda ushbu uch nuqtali konfiguratsiyalar maxsus nuqtalarda birlashadi va aynan shu joylarda to‘lqin tuzilishi beqarorlashadi. Shu pallada detonatsiya to‘lqinidagi sharoitlar o‘z-o‘zini qo‘llab-quvvatlovchi detonatsiya uchun Chapman–Jouguet nazariyasiga mos keladi. Ushbu maxsus nuqtalar orasidagi masofa Chapman–Jouguet to‘lqin uzunligi (2-rasmdagi λ) deb ataladi [11; 4895–4896-b.].



2-rasm. Detonatsiya to‘lqini frontining vaqtga nisbatan o‘zgarishi.

ZND nazariyasi. Portlovchi moddalarda kechadigan kimyoviy va fizik jarayonlarning eng mazmunli tavsifi ZND (Zeldovich–Neumann–Döring) nazariyasi orqali bayon etiladi. 1940–1943 yillarda Zeldovich (SSSR), Neumann (AQSh) va Döring (Germaniya) tomonidan ishlab chiqilgan ushbu nazariya C–J nazariyasining to‘laqonli rivojlantirilgan ko‘rinishi sifatida baholanishi mumkin. ZND modeli detonatsiya jarayonini tavsiflovchi eng muhim yondashuvlardan biri bo‘lib, u C–J chegarasini ham qamrab oladi va “tovush tezligi nuqtasi” (sonic point) deb nomlangan murakkab chegarani ham aniqlaydi. ZND modeliga ko‘ra, ushbu nuqta (detonatsiya to‘lqinining old qismida shakllanadigan) zarba to‘lqini ortidagi reaksiya zonasi ichida joylashadi. C–J chegarasi esa aynan shu “tovush tezligi nuqtasi” bilan bir sathda (mos holda) joylashgan bo‘ladi [6; 54–55-b.].



3-rasm. Portlovchi moddanining detonatsiylanish jarayoni va undagi to‘lqinlar ketma – ketligi.

Xulosa. Portlovchi moddalarning portlashgacha bo‘lgan bosqichi soniyaning ulushlarida kechsa-da, bu juda ko‘p kimyoviy va fizik o‘zgarishlarni o‘z ichiga oladigan murakkab jarayondir. Ushbu o‘zgarishlarni to‘g‘ri tahlil qilish va chuqur o‘rganish detonatsiylanishning asosiy parametrlarini optimallashtirish, jarayon xavfsizligini oshirish hamda yangi turdagi samarador va barqaror portlovchi moddalarni yaratish uchun mustahkam ilmiy zamin yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Richard A. Dick, Larry R. Fletcher and Dennis V. D’Andrea. Explosives and Blasting Procedures Manual.
2. Yu. A. Bogdanova¹, S. A. Gubin,¹ B. L. Korsunskii,² and V. I. Pepekin². Detonation Characteristics of Powerful Insensitive Explosives. September 2009.
3. Ya. B. Zel’dovich. Theory of shock waves and introduction to gas dynamics. Moscow 1946.
4. R. Meyer, J. Köhler, A. Homburg. Explosives. Sixth, Completely Revised Edition, 2007.
5. Z.X. Zhang. Overview of rock blasting theory and its engineering applications. April 2025.
6. A combustion wave in a premixed gas, the Chapman-Jouguet detonation wave. 2012. [www.mech.kth.se](https://www.mech.kth.se/courses/5C1219/Hand_out_PDF/Lecture%20notes%20fall%202012,%20ch%205.pdf)
https://www.mech.kth.se/courses/5C1219/Hand_out_PDF/Lecture%20notes%20fall%202012,%20ch%205.pdf
7. Effect of Chemistry on Temperature Boundaries of Gas dynamic-Chemistry Coherence Region for the Detonation Initiation in Systems with Induction Time Gradient. I.A. Zaev, C.A.Mechik, I.A. Kirillov, S. Van der Hoeven, D. Roekaerts.
8. Yunfeng Liu. The thermodynamics of C-J deflagration. July 2024.
9. Бивол Григорий Юрьевич Влияние геометрии канала и покрытия стенок на распространение детонационных волн. Moscow 2018.
10. Pavel V. Bulat, Konstantin N. Volkov. The History of the Study of Detonation. May 2016.

УДК: 622.271:528.8

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.30

**МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ,
ВЫЗВАННЫХ ПОДЗЕМНЫМИ ГОРНЫМИ РАБОТАМИ НА
МЕСТОРОЖДЕНИИ ХОНДИЗА, НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ INSAR И
СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ SENTINEL-1**



Ботиров Шохбос Соибович

Старший преподаватель, Термезский государственный
инженерный и агротехнологический университет,
Термез, Узбекистан
E-mail: shoxbos.b@mail.ru
ORCID ID: 0009-0002-3045-4217



Номдоров Рустам Уралович

PhD, доцент, Каришинский государственный технический
университет, Кариши, Узбекистан
E-mail: rustamnomdorov@mail.ru
ORCID ID: 0009-0000-6987-8995

Аннотация. Подземные горные разработки могут вызывать оседание земной поверхности (субсиденцию). Интерферометрическая радиолокация с синтезированной апертурой (InSAR) стала экономичным, эффективным и высокоточным методом для изучения и мониторинга деформаций земной поверхности. Однако в районах горных работ для успешного применения технологии InSAR необходимо преодолеть ряд факторов, таких как временная декорреляция (то есть снижение согласованности изображений с течением времени) и определяемый градиент деформации, которые ограничивают способность InSAR отслеживать быстрые процессы оседания. В настоящей статье рассматривается применение спутниковых изображений Sentinel-1 с периодом повторного съёма 6 или 12 дней, что позволяет повысить чувствительность к градиенту деформации и снизить влияние временной декорреляции. Путём комбинирования методов Small Baseline Subsets (SBAS) и Interferometric Point Target Analysis (IPTA) были получены пространственно непрерывные результаты оседания земной поверхности на примере месторождения Хондиза, расположенного в Сурхандарьинской области. Согласно результатам, в данном районе зафиксировано оседание до 70 см в год, что чётко отражает деформационное поле и его динамику развития. Полученные данные свидетельствуют о том, что технология InSAR является эффективным инструментом для мониторинга оседания земной поверхности в районах горных работ и предоставляет ценные сведения, необходимые для последующих мероприятий по восстановлению окружающей среды.

Ключевые слова: InSAR, оседание земной поверхности, подземные горные работы, Sentinel-1, IPTA, SBAS, интерферометрия, деформации, мониторинг, Сурхандарьинская область, месторождение Хондиза, спутниковые данные.

**XONDIZA KONIDA YER OSTI KON ISHLARI NATIJASIDA YUZAGA
KELGAN YER YUZASI DEFORMATSIYALARINI INSAR TEXNOLOGIYASI
VA SENTINEL-1 SUN'IY YO'LDOSH TASVIRLARI ASOSIDA MONITORING
QILISH**

Botirov Shoxbos Soibjon o'g'li

Termiz davlat muhandislik va agrotekhnologiyalar universiteti katta
o'qituvchisi, Termiz, O'zbekiston

Nomdorov Rustam Uralovich

Qarshi davlat texnika universiteti, PhD, dotsent,
Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya. Yer osti kon ishlari yer yuzasining cho'kishini (subsidentsiyani) keltirib chiqarishi mumkin. Sintetik aperturali radar interferometriyasi (InSAR) yer yuzasi deformatsiyalarini o'rganish va monitoring qilish uchun iqtisodiy, samarali hamda yuqori aniqlikka ega usullardan biriga aylandi. Biroq kon qazish ishlari olib boriladigan hududlarda InSAR texnologiyasini muvaffaqiyatli qo'llash uchun vaqt bo'yicha dekorrelyatsiya (ya'ni, vaqt o'tishi bilan tasvirlar o'zaro mosligining pasayishi) va aniqlanishi mumkin bo'lgan deformatsiya gradiyenti kabi qator omillarni yengib o'tish zarur. Bu omillar InSAR'ning tezkor cho'kish jarayonlarini kuzatish imkoniyatlarini cheklaydi. Ushbu maqolada Sentinel-1 sun'iy yo'ldoshi tasvirlaridan foydalanish tajribasi yoritilgan. Tasvirlar 6 yoki 12 kunlik takroriy suratga olish davri bilan olinib, bu deformatsiya gradiyentiga sezgirlikni oshirish va vaqt bo'yicha dekorrelyatsiya ta'sirini kamaytirish imkonini beradi. Small Baseline Subsets (SBAS) va Interferometric Point Target Analysis (IPTA) usullarini birlashtirish orqali Surxondaryo viloyatida joylashgan Xondiza koni misolida yer yuzasi cho'kishini uzluksiz fazoviy natijalar ko'rinishida olishga erishildi. Natijalarga ko'ra, mazkur hududda yiliga 70 sm gacha cho'kish kuzatilgan bo'lib, bu deformatsiya maydoni va uning rivojlanish dinamikasini aniq ifodalaydi. Olingan ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, InSAR texnologiyasi konchilik hududlarida yer yuzasi cho'kishini monitoring qilish uchun samarali vosita bo'lib, atrof-muhitni tiklash bo'yicha keyingi chora-tadbirlarni belgilashda zarur bo'lgan muhim ma'lumotlarni taqdim etadi.
Kalit so'zlar: InSAR, yer yuzasi cho'kishi, yer osti kon ishlari, Sentinel-1, IPTA, SBAS, interferometriya, deformatsiyalar, monitoring, Surxondaryo viloyati, Xondiza koni, sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari.

MONITORING OF LAND SURFACE DEFORMATIONS INDUCED BY UNDERGROUND MINING AT THE KHONDIZA DEPOSIT USING INSAR TECHNOLOGY AND SENTINEL-1 SATELLITE IMAGERY

Botirov Shokhbos Soibjon ugli

Senior Lecturer of the Termez State University of Engineering and
Agrotechnologies, Termez, Uzbekistan

Nomdorov Rustam Uralovich

Karshi State Technical University, PhD, Docent,
Karshi, Uzbekistan

Abstract. Underground mining operations can cause land surface subsidence. Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) has become an economical, effective, and highly accurate method for studying and monitoring surface deformations. However, in mining areas, the successful application of InSAR technology requires overcoming several challenges, such as temporal decorrelation (i.e., the reduction in image coherence over time) and the limitations related to detectable deformation gradients, which constrain InSAR's ability to track rapid subsidence processes. This study explores the use of Sentinel-1 satellite imagery with a revisit time of 6 or 12 days, which improves sensitivity to deformation gradients and reduces the impact of temporal decorrelation. By combining the Small Baseline Subsets (SBAS) and Interferometric Point Target Analysis (IPTA) methods, spatially continuous results of land subsidence were obtained using the example of the Khondiza mining site, located in the Surkhandarya region. The results revealed subsidence rates of up to 70 cm per year in this area, clearly illustrating the deformation field and its dynamic development. The findings demonstrate that InSAR technology is an effective tool for monitoring land subsidence in mining regions and provides valuable data for planning subsequent environmental restoration measures.

Keywords: InSAR, land subsidence, underground mining, Sentinel-1, IPTA, SBAS, interferometry, deformation, monitoring, Surkhandarya region, Khondiza deposit, satellite data.

Введение. Оседание земной поверхности | подрывающих комфортность проживания и представляет собой одну из основных угроз, | устойчивое экономическое развитие. Особенно

остро эта проблема проявляется в районах подземной добычи полезных ископаемых. Полиметаллическое месторождение Хондиза, расположенное в Сарыасийском районе Сурхандарьинской области, разрабатывается подземным способом. Добыча осуществляется поэтапно, и из недр месторождения извлекается около десяти видов металлов. Основными добываемыми ресурсами являются: золото, медь, серебро, свинец и другие.

Деформации поверхности земли, возникающие в результате подземных горных работ на полиметаллических месторождениях, как правило, характеризуются высокой скоростью и неопределённостью, поскольку они напрямую зависят от сложной динамики добычных процессов. InSAR (интерферометрическая радиолокация с синтезированной апертурой) является эффективным методом мониторинга деформаций земной поверхности и используется для наблюдения и анализа различных типов деформационных процессов.

Одним из ключевых условий для проведения интерферометрии является то, что максимальный градиент деформации не должен превышать одну фазовую линию на пиксель. Этот параметр зависит от отношения длины волны радиолокационного сигнала к размеру пикселя (Graham, 1974). Максимальный градиент деформации (d_x) рассчитывается по следующей формуле:

$$d_x = \frac{\lambda}{2\eta}. \quad (1)$$

Как показано в исследованиях Zhang и соавт. (2012), из-за высокой скорости деформаций и резких изменений растительного покрова на территории добычи, интерферометрические пары с высоким временным согласованием оптимально формируются в зимний период. Максимально допустимый градиент деформации, который может быть зарегистрирован с помощью технологии InSAR, зависит от длины волны радара, пространственного разрешения SAR-изображений и периода повторного визита спутника. Использование длинноволновых радаров с высокой пространственно-временной разрешающей способностью позволяет повысить чувствительность к максимальным градиентам

деформации между пикселями.

Для эффективного мониторинга деформаций земной поверхности в районе месторождения применены изображения спутников Sentinel-1. Спутники Sentinel-1A и Sentinel-1B, обладающие периодом повторного визита 6 и 12 дней соответственно, позволяют повысить чувствительность к деформационным градиентам и минимизировать эффект временной декорреляции. Согласно формуле (1), для интерферограммы с пиксельным разрешением $20 \text{ м} \times 20 \text{ м}$, формируемой спутниками Sentinel-1A/B, максимальный обнаруживаемый градиент деформации составляет 1,4 см. По сравнению со спутниками ERS или ENVISAT (с периодом повторного визита 35 дней) и RADARSAT (24 дня), интервал 6–12 дней у Sentinel-1 обеспечивает в четыре раза более высокую способность обнаружения деформаций.

Материалы и методы исследования.

Радиолокационные спутники с синтезированной апертурой (SAR) формируют изображения земной поверхности на основе двух компонентов: фазы и интенсивности (яркости) отражённого сигнала. Интерферометрическая фазовая разность, получаемая в результате сопряжённого произведения двух радиолокационных изображений, отражает смещения, произошедшие вдоль направления линии визирования (LOS — line of sight) между моментами съёмки. Интерферометрическая фаза выражается следующим образом:

$$\varphi_{int} = \varphi_{top} + \varphi_{flat} + \varphi_{def} + \delta\varphi_{atm} + \delta\varphi_n \quad (2)$$

где: φ_{top} — фазовая составляющая, обусловленная рельефом местности, φ_{flat} — фаза, соответствующая идеальной плоской поверхности, φ_{def} — фаза, вызванная деформацией земной поверхности по направлению LOS, $\delta\varphi_{atm}$ — фазовая погрешность, вызванная атмосферными условиями, $\delta\varphi_n$ — фазовая погрешность, вызванная шумами.

После устранения влияния рельефа, атмосферных и геометрических факторов на основе внешней цифровой модели рельефа, атмосферных данных и геометрии съёмки, смещение по линии визирования (ΔR) может быть вычислено по следующей формуле:

$$\varphi_{def} = \frac{4\pi}{\lambda} \times \Delta R. \quad (3)$$

На полученную дифференциальную интерферограмму могут оказывать влияние различные факторы, включая атмосферные возмущения, пространственную и временную декорреляцию. Для минимизации этих ограничений применяются два основных метода: SBAS (Small Baseline Subsets) и анализ когерентных отражателей (IPTA) (Werner и др., 2003; Ferretti и др., 2001).

Метод SBAS представляет собой практический подход, направленный на снижение эффекта пространственной декорреляции путём использования ограниченного набора SAR-изображений с малыми орбитальными различиями. Метод IPTA (Interferometric Point Target Analysis), разработанный компанией GAMMA Remote Sensing, основан на анализе когерентных точечных целей.

В настоящем исследовании методы SBAS и IPTA использовались совместно для получения временных рядов деформаций на территории месторождения Хондиза.

Результаты и обсуждение. В настоящем исследовании для анализа деформаций земной поверхности использовались данные в режиме IW (Interferometric Wide Swath) спутниковой миссии Sentinel-1, а также внешняя информация о рельефе на основе цифровой модели высот SRTM (DEM). Оседание земной поверхности в период с апреля 2017 года по ноябрь 2018 года было рассчитано с использованием технологии IPTA (Interferometric Point Target Analysis) на основе 48 спутниковых изображений.

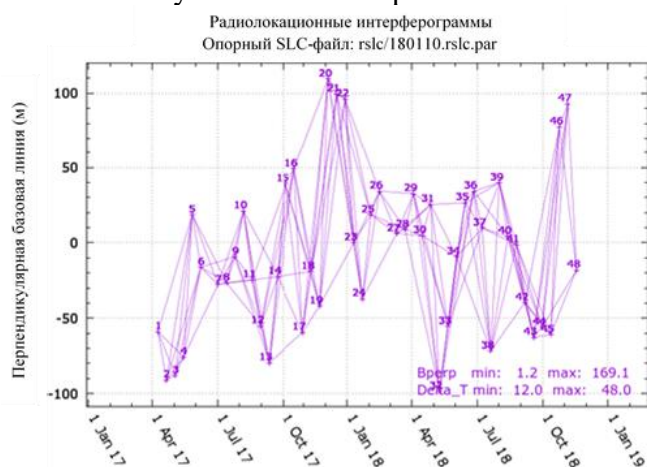


Рис.1. График базовых линий, использованных для формирования интерферометрических пар.

Из этих 48 изображений было сформировано 170 интерферограмм, при этом отбирались пары сцен с временной базой менее 48 суток и пространственной базой менее 200 метров (график базовых линий приведён на Рисунке 1).

Для участков с малыми деформациями (в данном случае — 5000×1000 пикселей; после мультиспекл-преобразования (multilook) с коэффициентом 5×1 — 1000×1000 пикселей) был понижен порог выбора когерентных точек с целью получения плотного облака целевых отражателей. В результате для анализа IPTA было отобрано 1 399 909 кандидатов когерентных точек.



Рис.2. График временных рядов деформации в районе месторождения Хондиза.

С использованием программного обеспечения GAMMA IPTA была построена карта скорости оседания, а также графики временных рядов деформации по каждому отражателю. Эти графики чётко отображают текущее состояние деформации земной поверхности в исследуемом районе и направление её развития в зависимости от интенсивности горных работ. Даже в зонах с максимальным оседанием технология показала

высокую точность: на некоторых точках было зафиксировано оседание более 1 метра. При этом в более ранних подходах (например, в методах, основанных на временной декорреляции) можно было определить лишь зону деформации, но не количественные параметры (Zhang и др., 2012).

По сравнению с данными SAR спутников ENVISAT и RADARSAT, 12-дневное временное разрешение изображений Sentinel-1 в режиме IW существенно повышает способность детектировать градиенты деформации в горнодобывающих зонах. Данная технология не только точно определяет площадь деформации, но и позволяет количественно охарактеризовать её масштаб и динамику развития.

(Нижние серые изображения представляют собой радиолокационные снимки Sentinel-1; наложенные цветные кольца отображают скорость деформации. Каждый цветовой цикл соответствует оседанию на 20 см.)

Во втором рисунке приведена временная последовательность деформаций на территории месторождения Хондиза, полученная на основе анализа 48 спутниковых изображений:

Рисунок 2. В правом нижнем углу, начиная с седьмого изображения, дополнительно выявлены ещё три центра оседания;

Рисунок 3. График деформации по времени для точки с наибольшей скоростью оседания (ID: 349 097, пиксельные координаты: $x = 2249$, $y = 331$). Скорость оседания в данной точке составляет 70 см в год;

Рисунок 4. Скорость деформации на территории месторождения Хондиза (апрель 2023 г. – ноябрь 2024 г.). Максимальная скорость оседания достигает 70 см в год; зона деформации чётко определяется и характеризуется пространственной непрерывностью.

Заключение. В настоящем исследовании для выявления оседания земной поверхности, вызванного подземными горными работами, была применена технология InSAR на основе данных SAR спутников Sentinel-1 с использованием комбинированного подхода SBAS и IPTA. Полученные результаты показали, что подземная добыча полезных ископаемых приводит к интенсивным деформациям земной поверхности со скоростью до 70

см в год.

Для каждой когерентной точки возможно построение графика, накопленного (кумулятивного) оседания во времени на момент каждого спутникового съёма (см., например, Рисунок 3).

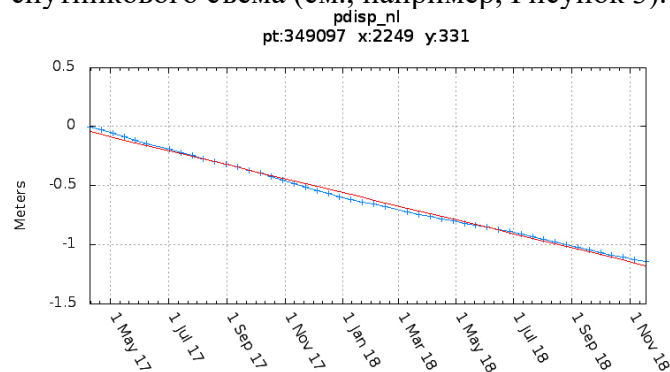


Рис.3. График временной последовательности смещений в центре оседания на территории месторождения Хондиза.

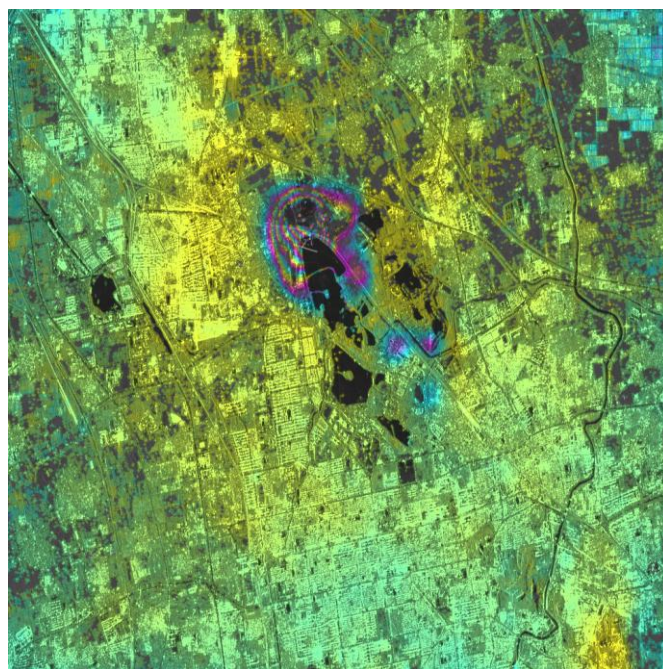


Рис.4. Скорость деформации на территории месторождения Хондиза.

(Нижнее серое изображение — радиолокационный снимок Sentinel-1; наложенные цветные кольца отображают скорость деформации. Каждый цветовой цикл соответствует 10 см деформации в год.).

Данная технология представляет собой эффективный инструмент для мониторинга оседания земной поверхности в горнодо-

бывающих районах и предоставляет ключевую информацию для планирования мероприятий по восстановлению окружающей среды.

Благодаря короткому интервалу повторного визита, спутниковые данные Sentinel-1 являются более эффективными для выявления быстрых деформаций в горнодобывающих районах по сравнению с другими SAR-спутниками со средним пространственным разрешением. С развитием радиолокационных спутниковых технологий, метод InSAR всё шире используется как эффективный и экономичный инструмент для мониторинга как быстрых, так и медленных деформационных процессов — от землетрясений, вулканической активности и

оползней до просадок в шахтных районах и инженерных деформаций.

Если объединить данные о просадках с заранее построенными моделями деформаций, а также интегрировать их с наземными методами, такими как геометрическое нивелирование, GPS-наблюдения или послойное маркирование, можно сформировать «космическо-наземную» трёхмерную систему мониторинга. Такой подход превращает технологию InSAR в надёжный и информативный метод наблюдения за оседанием земной поверхности в зонах добычи, предоставляющий ключевые данные, необходимые для восстановления и реабилитации окружающей среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., Sansosti, E. Новый алгоритм мониторинга деформаций земной поверхности на основе дифференциальных SAR-интерферограмм с малыми базовыми линиями // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. — 2002. — Т. 40. — С. 2375–2383.
2. Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. Постоянные отражатели (Permanent Scatterers) в SAR-интерферометрии // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. — 2001. — Т. 39. — С. 8–20.
3. Graham, L. C. Синтетическая интерферометрическая радиолокация для топографического картографирования // *Proceedings of the IEEE*. — 1974. — Т. 62. — С. 763–768.
4. Werner, C., Wegmüller, U., Strozzi, T., Wiesmann, A. Интерферометрический анализ точечных целей (IPTA) для построения карт деформаций // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. — 2003. — Т. 7. — С. 4362–4364.
5. Zhang, X. D., Ge, D. Q., Wu, L. X., Zhang, L., Wang, Y., Guo, X. F. Исследование мониторинга оседания в шахтных городах с использованием InSAR с малыми базами и когерентными отражателями // *Журнал Китайского угольного общества (Journal of China Coal Society)*. — 2012. — Т. 37. — С. 1606–1611.

UO‘K: 622.765:669.21/.23:532.5

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.31

KONSENTRATSION STOLDAGI ZARRACHALARNI AJRATISH JARAYONINING NAZARIY ASOSLARI



Tayraliyev Sherzod
Tayrali o‘g‘li

OKMK Kauldi koni shaxta geologi,
Mustaqil tadqiqotchi, Fan va
taraqqiyot DUK,
Toshkent, O‘zbekiston



Ergashev Mahmud
Axbaraliyevich

Islom Karimov nomidagi TDTU
Olmaliq filiali tayanch doktoranti,
Toshkent, O‘zbekiston



Eraliyev Abdug‘affor
Anarboy o‘g‘li

“Multinational Mine Group”
Maydalash sexi smena boshlig‘i,
Tayanch doktorant, Fan va
taraqqiyot DUK,
Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya. Maqolada Kauldi konining rudasi va yotgan shlamlarini qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqish va Kauldi konining sinovdan o‘tgan ruda uchastkasi sharoitida 100 kg shlam (rudalarni maydalash va yuvish paytida hosil bo‘lgan) tayyorlash bo‘yicha tadqiqot natijalari ko‘rib chiqilgan. Ushbu sinovlarda oltin va kumush tarkibli shlamlarni gravitatsion usulda boyitishda qayta ishlash imkoniyatlari va texnologik ko‘rsatkichlari aniqlandi. Sinov davrida oltin tarkibli shlamlarni gravitatsion usulda boyitishda qayta ishlash imkoniyatlari va texnologik ko‘rsatkichlari aniqlandi. Sinov davrida texnologik ko‘rsatkichlarni hisoblash uchun boyitish mahsulotlarining balans namunalari olindi.

Kalit so‘zlar: Konsentratsion stol, gravikonsentrat, gravitatsiya, shlam, Kauldi koni.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ НА КОНЦЕНТРАЦИОННОМ СТОЛЕ

Тайралиев Шерзод
Тайрали угли

Шахтный геолог
месторождения Коулди АГМК,
Независимый исследователь,
ГУП «Фан ва тараққийот»,
Ташкент, Ўзбекистон

Эргашев Махмуд
Ахбаралиевич

Базовый докторант
Алмалыкского филиала ТГТУ
имени Ислама Каримова,
Ташкент, Узбекистан

Эралиев Абдугаффор
Анарбой угли

Начальник смены дробильного
цеха «Multinational Mine Group»,
Базовый докторант, ГУП «Фан
ва тараққийот»,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В статье рассматриваются результаты исследования по разработке технология переработка руды и лежащих шламов рудника Каульды и проведения опытно-промышленных испытаний в условиях участок руда подготовка рудника Каульды было 100 кг шламов (образовавшихся при дроблении и отмывки руды). На данных испытаний определено возможности переработки и определено технологических показателей при гравитационной обогащении золото и серебросодержащих шламов гравитационным методом. В период испытаний определено возможности переработки и определено технологических показателей при гравитационной обогащении золотосодержащих шламов гравитационным методом. В период испытаний производило отбор балансовых проб продуктов обогащения для расчёта технологических показателей.

Ключевые слова: Концентрационный стол, гравиконцентрант, гравитация, шлам, рудник Кaulды.

THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE CONCENTRATION TABLE PARTICLE SEPARATION PROCESS

Tayraliev Sherzod
Tayrali ugli

Mine geologist of the Kouldi deposit
of AGMK, Independent researcher,
SUE "Fan va taraqqiyot",
Tashkent, Uzbekistan

Ergashev Makhmud
Akhbaraliyevich

Basic doctoral student of the
Almalyk branch of TSTU named
after Islam Karimov,
Tashkent, Uzbekistan

Eraliev Abdugaffor
Anarboy ugli

Shift supervisor of the
"Multinational Mine Group"
crushing plant, Basic doctoral
student, "Fan va taraqqiyot" State
Unitary Enterprise,
Tashkent, Uzbekistan

Abstract. The article discusses the results of research on the development of technology for processing of ore and waste sludge of the mine Kauldy and carrying out pilot tests tested in the conditions of the site ore preparation of the mine Kauldy was 100 kilograms of sludge (formed during crushing and washing of ore). On these tests determined the possibility of processing and determined the technological indicators in gravity concentration of gold and silver-bearing sludge by gravity method. During the period of tests the possibilities of processing were determined and technological indicators were determined at gravity concentration of gold-containing sludge by gravity method. During the period of tests the balance sampling of enrichment products for calculation of technological indicators was carried out.

Keywords: Concentration table, gravity concentrator, gravity, sludge, Kauldy mine.

Kirish. Konsentratsion stol yanchilgan ruda va shlamlarni zichligi hamda granulometrik tarkibi bo'yicha ajratishga mo'ljallangan eng samarali gravitatsion qurilmalardan biridir. Stol dekasi bo'ylab oqayotgan yupqa qatlamli suspenziyada zarrachalar gidrodinamik bosim, ishqalanish va og'irlik kuchlari ta'sirida qatlamlanadi; riflar oralig'ida og'ir (metallga boy) donalar pastki qatlamlarga "cho'kib", yengil bo'sh jinslar esa yuvilib chiqindiga ketadi. Shu mexanizm oltin-kumushga boy shlamlarni qayta ishlashda qo'shimcha metall olish imkonini beradi va flotatsiya bilan kombinatsiyada yuqori texnologik samaradorlikka erishishga xizmat qiladi.

Mazkur tadqiqotning maqsadi — OKMK Kouldi (Kauldi) koni rudasini yuvish va maydalash jarayonlarida hosil bo'lgan shlamlarni konsentratsion stolda boyitishning nazariy asoslarini aniqlash, tajriba-sanoat sinovlarini o'tkazish va texnologik ko'rsatkichlarni baholashdir. Bunda dekaga berilgan burilish burchagi ($\alpha \approx 10-12^\circ$), dekaning tebranish parametrlari, yuvuvchi suv sarfi va oqim chuqurligi, hamda zarracha tezliklari (v), tezanishi (a) va qatlamlanish kinetikasi

(V.Volchenko tenglamasi) nazariy jihatdan ko'rib chiqildi.

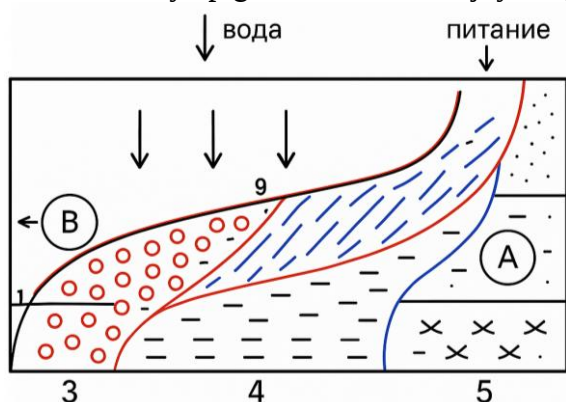
Tajriba obyektlari sifatida oltin va kumush saqllovchi shlamlardan 100 kg namunalar tayyorlandi. Konsentratsion stol rejimlari tanlandi, mahsulotlardan balans namunalari olindi va ikki sikl bo'yicha hisob-kitoblar bajarildi. 1-tajribada umumiy konsentratning oltin bo'yicha o'rtacha tarkibi 30,96 g/t, ajratib olish 38,66%; 2-tajribada esa mos ravishda 40,71 g/t va 46,98% ga erishildi (0,16 mm sinf bilan qo'shilganda oltin bo'yicha ajratib olish 47,74%). Kumush bo'yicha mos ravishda 9,67% va 16,26% (0,16 mm bilan 17,07%) natijalar olindi. Bu ko'rsatkichlar konsentratsion stol yordamida shlamlardan iqtisodiy jihatdan sezilarli qo'shimcha metall qaytarib olinishi mumkinligini ko'rsatadi.

Tadqiqot usuli. Konsentratsion stoldagi jarayon shunday kechadiki, yanchilgan ma'dan suv oqimi ta'sirida stolning qiya yuzasi bo'ylab ko'ndalang yo'nalishda harakatlanadi. Bu jarayon 1-rasmda ko'rsatilganidek, A zonasidan B tomonga qarab boradi. Bunda ma'dan zarrachalari suv oqimi bilan birga stolning qiya (deka) yuzasida ko'n-

dalangiga siljiydi.

Shu bilan birga, mayda ma'dan zarralari bo'ylama harakatga ega, ya'ni deka bo'ylab harakatlanadi. Bu yerda og'irlik kuchi, turbulent suv oqimining gidrodinamik bosim kuchi va dekadagi ishqalanish kuchi mutanosib ravishda ta'sir qiladi, bu asosan stolning pastki qatlamida sodir bo'ladi. Tarkibida zichligi va o'lchamlari bilan farq qiluvchi mis, oltin va kumush bo'lgan ma'danli jismlarning harakati bir xil emas, tarkibida metallar (oltin va mis) bo'lgan ma'danli jismlar tezlik vektorining yuqori inersion tashkil etuvchisiga ega bo'ladi, yirik ma'danli jismlar (ular bo'sh tog' jinslari bo'lishi mumkin) esa suv oqimining katta gidrodinamik bosimiga duch keladi. Oqimning zich qatlamlarida sekinlik bilan segregatsiya sodir bo'ladi - ya'ni zarrachalarning notekis joylashishi va oraliqlarda mayda metall tarkibli komponentlarning elanishi sodir bo'ladi.

1-rasm. A zonasida, ya'ni yuklovchi tomonida, asosan yirik va eng yengil bo'sh jinslar joylashgan. "B" zonasida mayda jinslar mavjud bo'lib, donalarning o'lchami kamayadi, zichligi esa ortadi, shuningdek, ulardagi mis va qimmatbaho metallar miqdori ko'payadi. Asosiy metall donachalari, erkin holatdagi oltin, kumush va mis ajralib chiqib, qora chiziq (boshcha) hosil qiladi - bu gravikonsentratga nisbatan boyroq materialdir. Juda mayda, tuproqsimon tarkibli, mis va qimmatbaho metallar miqdori juda past bo'lgan shlamlar A zonasining 5-qismida qolib, suv bilan yuvilib, yirik zarrachalar orasidan chiqindilarga chiqib ketadi. 1-rasmda ko'rsatilganidek, stol qopqog'ida turli xil ruda minerallari yelpig'ichsimon tarzda joylashgan.



1-rasm. Konsentratsion stol dekasida va gravitatsion boyitish jarayonida turli materiallarning harakatlanishi natijasida ma'danli jinslarning joylashishi.

Natijalar va muhokama. Oltin va kumush metallarini o'z ichiga olgan ma'dan tanachalari konsentratsiya stolining dekasi bo'ylab harakatlanganida, oqimning yuqori qatlam-laridan ketma-ket riflar orasidagi bo'shliqlarga tushadi va u yerda qayta qatlamlanadi. Yuvuvchi suvning ko'ndalang oqimi ma'danning bo'sh jinslarini qo'shimcha ravishda yuvib chiqaradi, ya'ni graviokonsentrat tozalanadi. Bu jarayon ma'dan zarrachalarining riflararo kanallar bo'ylab ma'danni bo'shatish tomonga shiddatli harakatlanishi paytida sodir bo'ladi.

1-jadval

Shlamli namunani gravitatsiya usulida boyitish natijalari (1-tajriba)

Mahsulot	Chiqishi, %	Miqdori, %, g/t		Ajratib olish, %	
		Au	Ag	Au	Ag
Konsentrat 1	1,74	56,5	53,1	22,83	3,48
Konsentrat 2	1,74	25	50,1	10,10	3,29
Konsentrat 3	1,90	13	40,6	5,73	2,91
Otval chiqindisi	94,62	1,792	5,33	61,34	90,33
Jami	100,00	4,31	26,53	100,00	100,00
Umumiy konsentrat	5,38	30,96	47,71	38,66	9,67

Otval chiqindilarining elakdan o'tkazilgan o'lcham xususiyatlari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

Otval chiqindilarida oltin va kumush bo'laklarining yirikligi bo'yicha sinflanishi.

Sinf, mm	Chiqishi, %		Miqdori, % g/t		Ajralishi, %	
	gr	%	Au	Ag	Au	Ag
+0,21	36,5	1,83	2,43	9,37	2,85	1,17
-0,21+0,15	28,9	1,45				
-0,15+0,1	140,9	7,05	1,86	6,32	4,69	1,71
-0,1+0,071	215,5	10,78	2,4	8,78	9,26	3,63
-0,071+0,044	127,7	6,39	2,3	15,48	5,26	3,79
-0,044	1450,5	72,53	3	32,28	77,94	89,71
Jami	2000	100	2,792	26,097	100	100

3-jadval

Shlamli namunani gravitatsiya usulida boyitish natijalari (2-tajriba)

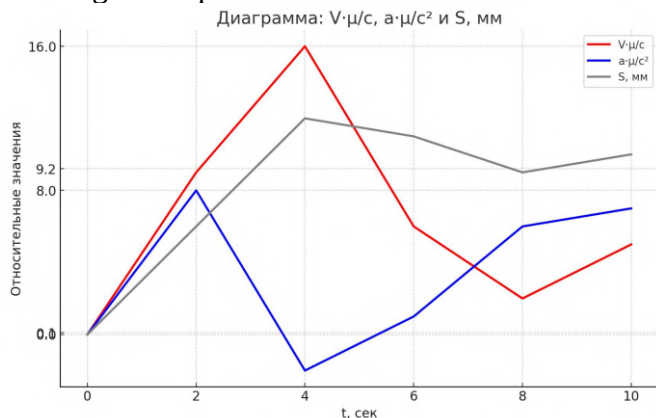
Mahsulot	Chiqishi, %	Miqdori, %, g/t		Ajralishi, %	
		Au	Ag	Au	Ag
+0,16 mm	3,04	1,91	7,01	0,76	0,81
Konsentrat 1	7,19	46	52,1	43,56	14,20
Konsentrat 2+3	1,57	16,5	34,6	3,42	2,06
Otval chiqindisi	88,20	1,5	4,82	52,26	82,93
Jami	100,00	7,60	26,40	100,00	100,00
Umumiy konsentrat	8,77	40,71	48,96	46,98	16,26
Umumiy graviokonsentrat + sinf 0,16 mm	11,8	30,73	38,16	47,74	17,07

Ma'dan tanasining deka bo'ylab harakati natijasida u gorizontaal yo'nalishdan yuqoriga ma'lum bir α burchakka ega bo'ladi (bizning tadqiqotlarimizda $\alpha=12-10^\circ$ deb qabul qilingan).

Konsentratsion stol dekasining tebranishidan kelib chiqadigan og'irlik kuchining vertikal tashkil etuvchisi $M \cdot \cos \omega t \cdot \sin \alpha$ ga teng bo'ladi.

Bu yerda M - muhitdagi ma'dan jismining massasi

Jarayonning nazariy asoslarini ko'rib chiqsak, g'alvirning tebranishidan hosil bo'lgan jadallash-tiruvchi kuchning ta'sir etish vaqti va to'xtash vaqti (bu yerda stolning harakatlari, orqaga va oldinga yurishi hisobga olinadi) qanday nisbatda bo'lishi kerakligini aniqlash zarur.



2-rasm. Bu yerda S - ma'danli jismning stol yuzasi bo'ylab bosib o'tgan masofasi, mm;

v - tezlik, m/s, a - deka tezlanishi, m/s²;

ℓ - deka tebranishining amplitudasi $\omega = 2\pi n$;

n - tebranish chastotasi, t - dekaning chetki holatidan harakatlanishi boshlanganidan beri o'tgan vaqt.

$$a = \frac{L\omega^2}{2} (\cos \omega t - \lambda \cos 2\omega t)$$

Agar ikkinchi garmoniya amplitudasining birinchi garmoniya amplitudasiga nisbati λ ekanligini hisobga olsak, $\lambda = 1/2$ ga teng bo'ladi. Bu yerda e'tibor qarating, a -m/s² (tezlanish) teskari yo'nalishdagi maksimal tezlanishning mutlaq qiymati dekaning to'g'ri yo'nalishdagi maksimal tezlanishidan 1,5-2 barobar katta. Ma'dan tanasi flotatsiyaga tayyorlangan holda mayda maydalanganini inobatga olsak, ya'ni maydalangan qismining 80% gacha bo'lgan qismi 0,074 mm o'lchamgacha maydalangan.

Bunday yirik rudada mis asosan xalkopirit, xalkozin va oz miqdorda kovellin ko'rinishida mavjud bo'lib, oltin va kumushning 50% gacha qismi mis va temirning sulfidli minerallarida (pirit mineralida) joylashgan. Mis va temirning barcha sulfidli birikmalari 5,5 dan 8,0 g/sm³ gacha zichlikka ega bo'lib, bu ko'rsatkich oltin, kumush,

molibden va platinoidlar miqdoriga bog'liq.

Qolgan 20 foiz ma'dan tanalarining yirikligi 0,1 dan 0,25 millimetrgacha bo'ladi. Selen, tellur, reniy, molibden, nikel va boshqa rangli metallar aynan shu yiriklikdagi zarrachalarda yo'qoladi. Flotatsiya jarayonida bu yirik zarrachalar flotatsiya chiqindilari bilan birga yo'qotiladi. Konsentratsion stoldagi gravitatsion boyitish usulida ham yirik qismlar (diametri 0,1 millimetrdan katta bo'lgan) yaxshi ajratib olinadi, chunki konsentratsion stolning sathida suspenziyalardagi donalar qatlamlarga ajraladi. Stol sathida bir xil zichlikdagi suspenziya qatlamlarining shakllanishi massalar ta'siri qonuniga muvofiq sodir bo'lishi va maydalangan ma'dan tanasining ko'ndalang oqimi pastki maydonining tekisligi asosida tahlil qilingan.

Bunda professor V.Volchenko zarrachalarning taqsimlanish kinetikasini tavsiflash uchun birinchi tartibli tenglamadan foydalangan.

$$dF_p/dt = -k_0 F_0$$

bu yerda, F_p - ajratish zonasidagi yengil fraksiyalar miqdori, ya'ni bo'sh jins

k_0 - rangli va qimmatbaho metallar bo'lmagan yengil fraksiyalar, ya'ni bo'sh jinslarning ajralib chiqish tezligini tavsiflovchi koeffitsiyent.

Bundan tashqari, og'ir zarrachalarning taqsimlanishi zarrachaning harakat tezligiga (v , m/s) bog'liq. Yuqori zichlikdagi zarralar uchun (ρ - 4,7 - 7,5 g/sm³) bu tezlik 1 sm/s dan kam bo'ladi. Bo'sh jins zarralari uchun esa, ya'ni tarkibida 55-65% gacha SiO₂, 7% gacha Al₂O₃, hamda 15% gacha CaO+MgO, CaCO₃ va MgCO₃ mavjud bo'lgan zarrachalar uchun, bu ko'rsatkich 1,0 - 1,7 sm/s ni tashkil etadi.

Shu bilan birga, stol yuzasidagi oqimlarning yuza tezliklari solishtirma suv sarfi va oqim chuqurligiga qarab 7,0 sm/soniyadan 9,5 sm/soniyagacha bo'ladi. Bu yerda oqim chuqurligi riflarning balandligi bilan ham belgilanadi.

Konsentratsion stolning dekasi bo'ylab bo'ylama harakatlanish uchun zarrachaning inersiya kuchi ruda tanasi va deka yuzasi orasidagi ishqalanish kuchidan katta bo'lishi kerak.

Kouldi koni ma'danlarini o'rganish natijalari shuni ko'rsatadiki, tarkibida oltin va kumush metallari mavjud bo'lgan og'ir zarralar uchun (15-30 g/t gacha oltin, 25-38 g/t gacha kumush va 0,7 g/t gacha platina hamda palladiy) bo'ylama harakatlanish tezligi 2,2 - 4,2 sm/soniyani, Kouldi

rudasining bo'sh jinslari uchun esa 1,5 - 2,1 sm/soniyani tashkil etadi. Shunday qilib, Kouldi koni ma'danini konsentratsion stolda tadqiq qilishda quyidagilar kuzatiladi. Konsentratsion stol dekasida ularning taqsimlanishining umumiy qonuniyati:

1. Konsentratsion stoli deskasining uzunligi bo'yicha - zichlikning 8,0 g/sm³ gacha ortishi va ruda tanasi o'lchamining 0,071 mm gacha kichrayishi

2. Stolning kengligi bo'yicha - ruda tanasi zarrachalarining zichligi kamayishi va o'lchami kattalashishi

3. Oqim balandligi bo'yicha - zichlikning 2,5 g/sm³ gacha pasayishi va ruda tanasi o'lchamining 0,1 mm gacha kattalashishi.

Xulosa. Kouldi koni shlamlarini konsentratsion stol orqali boyitish bo'yicha tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, dekaning $\alpha \approx 10-12^\circ$ og'ish burchagi, barqaror tebranish va yuvuvchi suv sarfini optimallashtirish sharoitida riflar oralig'ida

qatlamlanish samarali kechadi va og'ir fraksiyalar (oltin-kumushga boy) konsentrat yo'liga, yengil fraksiyalar esa chiqindiga ajraladi; natijada 1-tajribada umumiy konsentrat tarkibi Au 30,96 g/t bo'lib 38,66% oltin ajratib olindi, 2-tajribada esa Au 40,71 g/t bilan 46,98% (0,16 mm sinfi qo'shilganda 47,74%) ga erishildi; kumush bo'yicha mos ravishda 9,67% va 16,26% (0,16 mm bilan 17,07%); bu ko'rsatkichlar konsentratsion stol yordamida shamlardan iqtisodiy jihatdan sezilarli metall qaytarib olish mumkinligini tasdiqlaydi; amaliy jihatdan jarayonni flotatsiya bilan zanjirda bog'lash, 0,1–0,25 mm fraksiyani oldindan elaklab alohida rejimda boyitish va suv-tebranish parametrlarini operativ nazorat qilish tavsiya etiladi, istiqbolda esa rif geometriyasi hamda mashina parametrlarini matematik modellashirish orqali ajratish samaradorligini yanada oshirish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Негматов, С. С. (2019, 18 сентября). Народное слово, (№194 (7393)).
2. Юшина, Т. И. (2002). Материаловедение. Флотационные реагенты: Учебное пособие (Часть 1, с. 123). Москва: МГГУ.
3. Хасанов, А. С., и Хакимов, К. Ж. (2022, 30 ноября). Техноген чиқиндиларни қайта ишлаш бўйича саноат корхоналарида ривожлантиришнинг янги усуллари ва истикболлари. В Международная студенческая конференция «Фан, таълим ва ишлаб чиқариш интеграцияси асосида муҳандислик-технология соҳасини ривожлантириш истикболлари».
4. Толибов, Б. И., Асроров, А. А., Фузайлов, О. У., Хасанов, А. С., и Сатторов, Г. С. (2013). Рациональный анализ как метод косвенного определения технологических показателей извлечения золота. В VI Международная заочная научно-практическая конференция: Научная дискуссия — вопросы технических наук.
5. Хурсанов, А. Х., Негматова, К. С., Бозоров, А. Н., Негматов, С. С., Икрамова, М. Э., Негматов, Ж. Н., и Рахимов, Х. Ю. (б.д.). Изучение механизма взаимодействия композиционных химических флотореагентов-вспенивателей в процессе флотации руд частицами цветных и благородных металлов в металлургии. Композитсион материаллар, с. 184.
6. Хурсанов, А. Х., Негматов, С. С., Негматова, К. С., Икрамова, М. Э., Негматов, Ж. Н., Бозоров, А. Н., и Раупова, Д. Н. (2022). Разработка эффективных составов композиционных химических флотореагентов-вспенивателей, исследование их физико-химических свойств и флотационной способности. Universum: Технические науки, 3(2(96)), 29–37.
7. Хурсанов, А. Х., Негматов, С. С., Негматова, К. С., Абед, Н. С., Икрамова, М. Э., Негматов, Ж. Н., Бозоров, А. Н., и Раупова, Д. Н. (2022). Технология получения композиционных химических флотореагентов-вспенивателей на основе местного сырья и отходов производств для применения в процессе флотации медно-молибденовых руд. В Нефтегазохимия–2022 (с. 185–188).

UO‘K: 622.453

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.32

SAQLANISH QONUNI ASOSIDA YER OSTI KON LAHIMLARINI EJEKSIYA JARAYONINI MATEMATIK MODELLARINI TAHLILI



**Ravshanov Avaz Ali
o'g'li**

“NKMK” AJ Janubiy kon
boshqarmasi O'quv-kurs kombinati
ishlab chiqarish ta'limi ustasi,
Navoiy, O'zbekiston



**Nurxonov Xusan
Almirza o'g'li**

Qarshi davlat texika universiteti,
“Geologiya va konchilik ishi”
kafedrası dotsenti t.f.f.d. (PhD),
Qarshi, O'zbekiston
ORCID ID: 0000-0003-4526-7211



**Nizomov To'liqin
Najimovich**

“NKMK” AJ Janubiy kon
boshqarmasi bosh muhandisi,
Navoiy, O'zbekiston



**Eshtilavov Salohiddin
Adilovich**

“NKMK” AJ Janubiy kon
boshqarmasi Zarmitan koni
shamollatish uchastkasi boshlig'i,
Navoiy, O'zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada yer osti konlarida ventilyatsiya tizimining nazariy asoslari tahlil qilingan. Havo sarfi Q ning qarshilik R va havo zichligi ρ ga bog'liqligi turli mualliflar tomonidan ishlab chiqilgan matematik modellarga tayangan holda ko'rib chiqildi. I.I. Medvedev, D.I. Alimenko hamda N.N. Mohirev tomonidan taklif etilgan tenglamalar asosida havo oqimining impuls va energiya saqlanish qonunlari doirasida baholanishi yoritilgan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, qarshilik ortishi bilan havo sarfi kamayishi, zichlik ortishi esa havo sarfini oshirishi aniqlandi. Shuningdek, oqimlarning aralashuvi, devor bilan ishqalanish va energiya yo'qotishlari shamollatish samaradorligiga bevosita ta'sir etishi qayd etildi.

Kalit so'zlar: zaharli gazlar, havo harakati, zichlik, oqim, mahalliy ventilyator, yer osti kon lahimi, devor, energiya saqlanish qonuni, portlash, shaxta, statik bosim, kinetika energiya, zarba, havo aralashishi.

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ЭЖЕКЦИИ В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ НА ОСНОВЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ

**Равшанов Аваз Али
угли**

Мастер производственного
обучения Учебно-курсового
комбината Южного
рудоуправления АО «НГМК»,
Навои, Узбекистан

**Нурхонов Хусан
Алмирза угли**

Каршинский государственный
технический университет,
доцент кафедры геологии и
горного дела, доктор философии
(PhD), Карши, Узбекистан

**Низомов Тулкин
Нажимович**

Главный инженер Южного
рудоуправления, АО «НГМК»,
Навои, Узбекистан

**Эштилавов
Салохиддин Адилевич**

Начальник вентиляционного
участка рудника Зармитан
Южного рудоуправления АО
«НГМК», Навои, Узбекистан

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические основы функционирования вентиляционных систем в подземных горных выработках. На основе математических моделей, предложенных И.И. Медведевым, Д.И. Алимёно и Н.Н. Мохиревым, проведён анализ зависимости расхода воздуха QQQ от сопротивления RRR и плотности воздуха rrr . Показано, что с ростом сопротивления расход воздуха уменьшается, тогда как увеличение плотности приводит к росту расхода. Установлено, что процессы смешивания потоков, трение о стенки выработок и энергетические потери оказывают существенное влияние на эффективность вентиляции.

Ключевые слова: Вредные газы, движение воздуха, плотность воздуха, поток, местный вентилятор, подземная горная выработка, стенки выработок, закон сохранения энергии, взрыв, шахта, статическое давление, кинетическая энергия, ударные силы, смешивание воздушных потоков.

ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS OF THE EJECTION PROCESS IN UNDERGROUND MINE WORKINGS BASED ON THE LAW OF CONSERVATION

Ravshanov Avaz Ali ugli

Master of Industrial Training of the
Training and Courses Combine of
the Southern Ore Administration of
JSC "NMMC", Navoi, Uzbekistan

**Nurkhonov Khusan
Almirza ugli**

Karshi State Technical University,
Docent of the Department of
Geology and Mining, PhD,
Karshi, Uzbekistan

**Nizomov Tulkin
Najimovich**

Chief Engineer of the Southern
Mining Department of "NMMC"
JSC, Navoi, Uzbekistan

**Eshtilov Salohiddin
Adilovich**

Head of the ventilation section of
the Zarmitan mine of the Southern
Ore Administration of "NMMC"
JSC, Navoi, Uzbekistan

Abstract. The article examines the theoretical foundations of ventilation system operation in underground mine workings. Based on mathematical models proposed by I.I. Medvedev, D.I. Alimenko, and N.N. Mohirev, an analysis of the dependence of air flow rate Q on resistance R and air density ρ has been carried out. It has been shown that as resistance increases, the air flow decreases, while an increase in density leads to a higher flow rate. It has also been established that flow mixing, wall friction, and energy losses have a significant impact on ventilation efficiency.

Keywords: Toxic gases, air movement, air density, flow, local fan, underground mine working, mine walls, law of energy conservation, explosion, mine, static pressure, kinetic energy, impact forces, air flow mixing.

Kirish. Yer osti foydali qazilmalarni xavfsiz olib borishning eng muhim omillaridan biri bu – ventilyatsiya tizimi orqali qazib olish uchastkalariga yetarlicha miqdorda va normativga ko'rsatilgan miqdorda toza havo yetkazib berilishidir. Chunki konlardagi toza havo tarkibi ishchilar salomatligi, mehnat xavfsizligi hamda texnika-texnologiyalarni barqaror ishlashiga ta'sir ko'rsatadi. Agar shaxtaga yetarli miqdorda toza havo yetqazib berilmasa, zaharli gazlarning ko'payib bir joyga to'planishi, kislorod miqdorining kamayib ketishi, portlash xususiyatiga ega va gaz aralashmalarining hosil bo'lishi natijasida xavfli portlashlar yuzaga kelishi mumkin. Ventilyatsiya tizimining asosiy vazifasi – qazib olish uchastkalari va havo oqimlarini to'g'ri taqsimlash uchun yordamchi lahimlarda, gaz va chang aralashmalarini o'z vaqtida chiqarib yuborish, hamda shaxta temperaturasi va namlikni normativ bo'yicha ushlab turishdan iborat. Yer osti kon lahimlarining har bir uchastkada shamollatish ishlarining samarali ishlashini nazorat qilib turish, toza havo oqimlarini loyiha normativlari bo'yicha ko'rsatilgan me'yorlarga mos ravishda tartibga solish konchilik korxonalarining eng muhim va

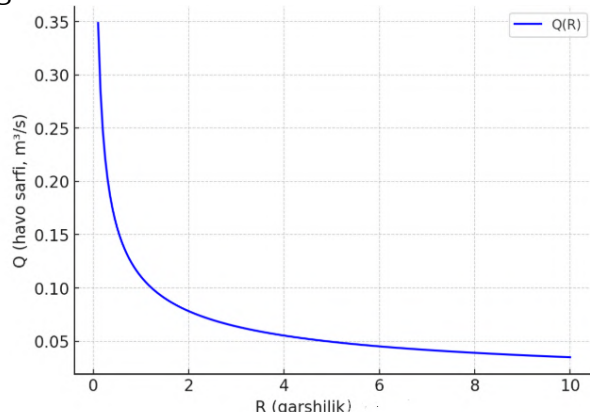
asosiy vazifalaridan biri bo'lib qoladi.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Kon lahimiga yo'naltirilgan havoning umumiy sarfi Q uchun (1) formula I.I. Medvedev tomonidan ejeksiyalovchi, ejeksiyalanuvchi va umumiy oqimlarning kinetik energiyalari muvozanati tenglamasida keltirilgan [1]. Oqimlarni aralashtirishda kinetik energiyaning yo'qolishi, impulsning saqlanish qonunida tenglamasida hisoblab chiqilgan, bunda, soddalashtirishlarga tegishli bazi bir momentlarni hisobga olmaganda, impulsning saqlanish tenglamasini o'zi kelib chiqadi. Impulsning saqlanish tenglamasida oqimlar aralashtirilganda harakat miqdori umuman o'zgarmaydi. Ejeksiya jarayon orqali hosil bo'ladigan statik bosimlar farqi ta'sirida o'zgaradi. Impulsning saqlanishi oqibatida havo oqimining devorga ishqalanishi va aralashtirish kamerasi tomonidan uning torayishi-kengayishi natijasida impuls tenglamasidan tashqariga chiqmasligini anglatadi.

$$Q = \frac{q}{\sqrt{\frac{fS}{2} \left(\frac{2g}{\rho} R + \frac{1}{F^2} + \frac{1}{S^2} \right)}} \quad (1)$$

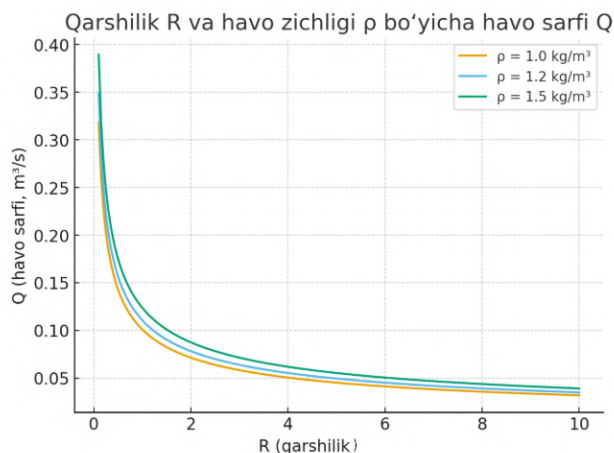
bu yerda ρ - havo zichligi (kg/m^3), R -

shamollatilyotgan lahimning qarshiligi (kgs/sm^2), $g=9.8$ erkin tushish tezlanishi.



1-rasm. Shamollatish lahimida havo sarfining qarshilikka bog'liqligi.

1-rasmda ko'rinib turibdiki, 1-formuladan kelib chiqadigan bo'lsak, qarshilik R ortishi bilan havo sarfi Q kamayib borishini ko'rib turibmiz. Grafik teskari proporsional bog'lanishni ko'rsatmoqda. Demak, shamollatish lahimining qarshiligi oshsa, unga sarflanadigan havo miqdori kamayadi.



2-rasm. Qarshilik R va havo zichligi ρ bo'yicha havo sarfi Q ga bog'liqligi.

Uchta turli havo zichligi ($\rho=1.0, 1.2, 1.5 \text{ kg/m}^3$) uchun havo sarfi Q ning qarshilik R ga bog'lanishi ko'rsatildi. Zichlik ortganda Q qiymati yuqoriroq bo'ladi. Barcha hollarda qarshilik R oshishi bilan Q kamayadi.

Ejeksiyalanayotgan oqimning kinetik energiyasi yetarlicha kichik deb hisoblangan va nolga tenglashtirilgan. Bundan kelib chiqadigan bo'lsa, yaqinlashuv kamerasida harakat oqimining ko'ndalang kesim yuzasi kichiklashganligi va ejeksiyalanayotgan oqim tezligi ortgan sari yanada

murakkablashadi. Ejeksiya jarayonda paralel yoki qarama-qarshi oqimlarning harakat ta'siri e'tiborga olinmadi. T.Ye.Gumenyukning ilmiy tadqiqot ishlarida shunga o'xshash formula (1) ning $F=S$ bo'lgandagi oddiy holat deb hisoblagan [2].

Yer osti kon lahimiga yuboriladigan havoning o'rtacha miqdori Q uchun (2) tenglama D.I.Alimenko energiyaning saqlanish qonuniga asoslangan bo'lib, bunda (1) formuladan farqli o'laroq, ayrim qiymatlarni olishda ejeksiyalanayotgan oqimning energiyasi nolga teng deb hisoblanmagan [3].

$$\xi_1 \frac{1}{4} \frac{Q}{q} \left(1 + \frac{q-1}{f-1} \right)^2 + (1 + \xi_2) \frac{\left(\frac{Q}{q} \right)^3}{\left(\frac{S}{f} \right)^2} - \frac{\left(\frac{Q}{q} - 1 \right)^3}{\left(\frac{S}{f} - 1 \right)^2} + \frac{2gRf^2}{\rho} \left(\frac{Q}{q} \right)^3 = 1 \quad (2)$$

bu yerda ξ_1 - havo aralashtirish kamerasiga kirish, shamollatuvchi quvur yon devoriga beriladigan zarba va ishqalanish qarshiliklarining umumiy yig'indi koeffitsiyenti, ξ_2 - havo aralashtirish kamerasidan chiqishdagi umumiy qarshilik koeffitsiyenti.

Ikkala tamondan qo'shilgan umumiy havo oqimlarning aralashtirishda energiya yo'qotilishini aniqlash uchun G.N.Abramovich, I.Ye.Idelchik va bir nechta mualliflar tomonidan tadqiq qilingan hamda turbulent oqimlar nazariyasidagi eksperimental bog'liqliklardan foydalanilgan [4]. Ikkala tamonda qo'shilgan umumiy havo oqimlarini aralashtirish natijasida energiyaning ma'lum bir qismi yo'qotilish yuzaga keladi, hamda, umumiy havo oqimlarini aralashtirish kamerasiga kirish va aralashtirish kamerasidan chiqishdagi energiya bir qismi yo'qotilishi "diapazonli" tarzda hisobga olindi, bunda, energiya yo'qotish koeffitsiyentlari uchun kerak bo'ladigan barcha qiymatlar diapazoni ko'rsatildi. Energiyaning yo'qotilish formulasidan kelib chiqadigan bo'lsak, ayrim qiymatlar diapazoni bilan ham beriladigan noaniq koeffitsiyentlar o'zgarib boradi, ya'ni oqimning turbulent tuzilish koeffitsiyenti, oqimning kengayish burchagi, Reynolds soni ham kiradi.

Yuqorida keltirilgan 2 tenglamadagi ξ_1 va ξ_2 koeffitsiyentlar aniq bir raqamlar bilan asoslanmagan va sonli sanoqda ularni taxminiy sonlar bilan ifodlangan bo'lish kerak, aks holda sanoq olish imoki bo'lmaydi. Tenglamada keltirilgan koeffitsiyentlarni variatsiyalash shuni ko'r-

satdiki, berilgan masalaning miqdor jihatdan aniq yechimini aynan shu koeffitsiyentlar bilan aniqlash imkonini beradi: kon lahimini uchun yetarlicha kichik koeffitsiyentlarda yuboriladigan istalgancha katta Q havo sarfiga, yetarlicha katta koeffitsiyentlarda esa istalgancha kichik sarfiga erishish imkonini beradi. Xulosa qilib aytish mumkinki, energiya yo'qotishlarni aniqlamasdan turib, masala to'liq yechim topmagan - sifat hamda miqdoriy yechim uchun energiyani ma'lum qismi yo'qotishlarini aniqlash talab qilinadi. Bu yerda oqimlarning qo'shilib ta'sir etishi hamda qarshi yo'nalishda harakatlanishining ta'siri ham inobatga olinmaydi. Havo sarfi Q uchun yuqorida keltirilgan (3) formula uchun ham N.N.Mohirev tomonidan energiyani saqlanish qonuni asosida qabul qilingan [6]:

$$Q = \sqrt[3]{\frac{S^2}{(F-f)^2 \left(RS^2 + 1.091 \frac{\rho}{2g} S^3 \sqrt{\left(\frac{g}{\rho R}\right)^3 - \frac{\rho}{2g}} \right)}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho}{2g} q^3 \left(\left(\frac{F-f}{F}\right)^2 \frac{1.472 \sqrt{f}}{\sqrt{S+0.002885 \sqrt{f}}} - 1 \right) + RQ_0^3 (F-f)^2} \quad (3)$$

Q_0 - Ventilyator-ejektor ishga tushishidan avvalgi havo oqimi (m^3/s). Bu sharoitda energiya yo'qotilishi muallifning o'z yondashuvi asosida aniqlanadi. Tenglamada impulsning saqlanish qonunidan foydalanishni qo'pol ravishda buzilgan deb hisoblaydi va I.Ye.Ridelchik usuli bo'yicha energiya yo'qotish koeffitsiyentini hisoblash 1-turdagi ejektorlar, ya'ni "siqilgan" ejektorlar uchun yaroqsiz deb hisoblaydi [5]. Tadqiqotdan olingan

tajriba natijalarini qayta ishlash asosida energiya yo'qotish koeffitsiyentlari ("to'liq gidravlik yo'qotishlar") uchun xususiy bog'liqlikni oldi. Yo'nalishi bir xil hamda qarama-qarshi bo'lgan oqimlarning ejeksiya jarayoniga ta'siri ham e'tiborga olindi. (3) formula aniq bo'lmagan koeffitsiyentlarni kiritish imkonini yo'q va $R > R_{kp}$ bo'lganda qo'llaniladi, bu yerda R_{kp} tenglamadagi maxrajning nolga tengligi shartidan aniqlab olinadi [6].

Xulosa. Yer osti konlarida foydali qazilmalarni qazib olishda, xavfsizlik va samarali qazib olish jarayoni ventilyatsiya tizimi uchun eng muhimdir. Shaxtaga toza havo yetqazib berishda, normativ talablarga muvofiq miqdorda bo'lishi, ishchilarning sog'lig'i va mehnat xavfsizligini ta'minlaydi, balki kon-texnik sharoitlarni yaxshilashga xizmat qiladi. Zaharli va portlovchi gaz aralashmalarining to'planishi bu shamollatish samaradorligining pasayishiga olib keladi. Natijada portlash xavfining ortishi kuzatilishi mumkin. Tadqiqot tahlillar shuni ko'rsatdiki, turli fizik qonunlarga asoslangan holda, kon lahimida havo sarfi Q qiymatini hisoblash usullari qo'llaniladi. Jumladan, I.I. Medvedev (1), D.I. Alimenko (2) hamda N.N. Mohirev (3) tomonidan taklif etilgan formulalar impulsning saqlanishi va energiyani saqlanishi qonunlariga asoslangan bo'lib, ular yordamida havo sarfi hamda energiya yo'qotishlari baholanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Медведев, И. И. (1970). Проветривание калийных рудников. Москва: Недра. 208 с.
2. Гуменюк, Т. Е. (1958). Исследование проветривания подземными участковыми вентиляторами без перемычки. Труды Карагандинского горного института, (3).
3. Алыменко, Д. Н. (1999). Работа вентиляционной установки комбинированного типа в рудничной вентиляционной сети (Диссертация кандидата технических наук). 159 с.
4. Идельчик, И. Е. (1948). Потери в потоке с неравномерным распределением скоростей. Труды института им. Н. Е. Жуковского, (62).
5. Казаков, Б. П., & Шалимов, А. В. (2002). Оптимизация подготовительных работ при проведении воздушно-депрессивной съёмки рудника. Горное эхо. Вестник горного института, (3), 35–37.
6. Ravshanov, A.A., Bo'riyev, F.M., & Bobomurodov, A.Y. (n.d.). Yer osti shamollatish qurilmalarini tanlash va samaradorligini oshirish. In "Respublika janubida geologiya, kon-metallurgiya va neft-gaz sohalarining istiqbollari" mavzusidagi xalqaro ilmiy va ilmiy-texnik anjumani materiallari to'plami (pp. 135–137).

UO‘K: 622.7

 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.33

ARALASH MIS RUDALARIDAN OLTIN VA MISNI SAMARALI AJRATIB OLISHNING INNOVATSION TEXNOLOGIYALARI



Babayev Mirdodojon Sharofjon o'g'li

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori PhD, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O'zbekiston

E-mail: babayevmirdodojon@mail.ru

ORCID ID: 0009-0001-8669-8774

Annotatsiya. Rangli va qimmatbaho metallar tarkibli sanoat chiqindilarini qayta ishlash bo'yicha ilmiy asoslangan texnologiyalarni ishlab chiqish kon-metallurgiya ishlab chiqarishining iqtisodiy samaradorligini oshirishning muhim yo'nalishlaridan biridir. Ushbu maqolada "Yoshlik-I" konining balansdan tashqari aralash mis rudalaridan mis va qimmatbaho metallarni kompleks ajratib olish texnologik sxemasi ishlab chiqildi. Olib borilgan tajribalar asosida ishlab chiqilgan texnologiya "O'zkumirgo'zallik kombinat" AJ tarkibidagi MOF-1 fabrikasida amaliyotga tatbiq etildi. Tadqiqotlar jarayonida aralash mis rudalarini Knelson konsentratorida ikki bosqichli boyitishning optimal parametrlari belgilandi, natijada oltinni ajratib olish darajasi 78% gacha, misning esa qo'shimcha qayta ishlash operatsiyalari bilan birgalikda 85,4% dan ortiq kompleks ajralishi ta'minlandi.

Kalit so'zlar: Aralash mis rudalari, qimmatbaho va noyob metallar, gravitatsion konsentratsiya, sianlash jarayoni, sorbsion usullar, texnogen chiqindilar, qayta ishlash texnologiyasi, ekologik xavfsizlik.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭФФЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА И МЕДИ ИЗ СМЕШАННЫХ МЕДНЫХ РУД

Бабаев Мирдодожон Шарофжон угли

Доктор философии (PhD) по техническим наукам, Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

Аннотация. Разработка научно обоснованных технологий переработки промышленных отходов, содержащих цветные и благородные металлы, является важным направлением повышения экономической эффективности горно-металлургического производства. В данной статье представлена технологическая схема комплексного извлечения меди и благородных металлов из забалансовых смешанных медных руд месторождения «Ёшлик-I». На основе проведённых опытов разработанная технология была внедрена в практику на МОФ-1 АО «АГМК». В ходе исследований установлены оптимальные параметры двухступенчатого обогащения смешанных медных руд на концентраторе Кнельсона. В результате степень извлечения золота достигла до 78%, а комплексное извлечение меди превысило 85,4% с дополнительными операциями по меди.

Ключевые слова: Смешанные медные руды, драгоценные и редкие металлы, гравитационная концентрация, процесс цианирования, сорбционные методы, выщелачивание, техногенные отходы, технологии переработки, экологическая безопасность.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR EFFICIENT EXTRACTION OF GOLD AND COPPER FROM MIXED COPPER ORES

Babaev Mirdodojon Sharofjon ugli

Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Navoi State Mining and Technology University, Navoi, Uzbekistan

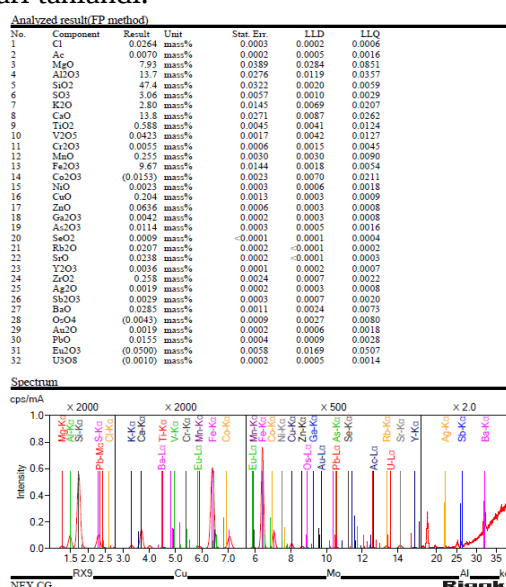
Abstract. The development of scientifically grounded technologies for the processing of industrial wastes containing non-ferrous and precious metals is an important direction for improving the economic efficiency of mining and metallurgical production. This article presents a technological scheme for the integrated extraction of copper and precious metals from off-balance mixed copper ores of the “Yoshlik-I” deposit. Based on experimental studies, the developed technology was implemented in practice at MOF-1 of Almalyk Mining and Metallurgical Complex (AMMC). The research established the optimal parameters for two-stage beneficiation of mixed copper ores using a Knelson concentrator. As a result, the gold recovery reached up to 78%, while the comprehensive copper extraction exceeded 85.4% with additional copper recovery operations.

Keywords: Mixed copper ores, precious and rare metals, gravity concentration, cyanidation process, sorption methods, leaching, technogenic wastes, processing technology, environmental safety.

Kirish. Metallurgiya sohasining asosiy vazifalaridan biri ruda va texnogen xomashyolardan tarkibiy komponentlarni tayyor mahsulotga ajratib olish darajasini oshirishdir. O‘zbekiston Respublikasida aralash kelib chiqishga ega va tarkibida mis hamda qimmatbaho metallar, xususan oltin va kumush miqdori past bo‘lgan katta hajmdagi balansdan tashqari mis rudalari mavjud. Aralash rudalardan rangli metallar va qimmatbaho metallarni kompleks ajratib olish texnologiyasini yaratish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar metallurgiya ishlab chiqarish sanoati uchun dolzarb hisoblanadi. Mazkur ish aynan past navli aralash rudalardan qimmatbaho metallarni olishning yangi yondashuvlarini ishlab chiqishga bag‘ishlangan. Vaqt o‘tishi bilan hosil bo‘lgan qoplama jinslari, yig‘ilib qolgan balansdan tashqari rudalar, mineralizatsiyalangan massalar, ruda tayyorlash jarayonining oraliq chiqindilari O‘zbekiston metallurgiyasini rivojlantirish uchun istiqbolli xomashyo bazasi bo‘lib xizmat qiladi. “Olmaliq KMK” AJda rangli metallar zaxirasi qo‘shimcha manba sifatida kon ag‘darmalari va chiqindi saqlash joylarida mavjud [1].

Balansdan tashqari rudalar va texnogen chiqindilar bo‘yicha olingan ma‘lumotlarni tahlil qilish, ularni dastlabki boyitish orqali qimmatbaho metallarni ajratib olish zarurligini ko‘rsatadi. Shu jarayonda, qo‘shimcha tarzda, tarkibida nisbatan past miqdorda bo‘lsada, misni ham ajratib olish rejalashtiriladi.

Obyektlar va tadqiqot usullari. Ushbu ishning tadqiqot obyekti sifatida “Olmaliq KMK” AJning “Yoshlik-I” konidan olingan aralash oksidli va sulfidli mis rudalari tanlandi. Ishda zamonaviy kompleks tadqiqot usullari, laboratoriya sharoitida olib borilgan texnologik tajribalar hamda tajriba-sanoat sinovlari keng qo‘llanildi. Fizik-kimyoviy tadqiqot usullari: IK-spektroskopiya, skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM), energodispersiv spektroskopiya (EDS), energodispersiv rentgen-fluorestsent spektroskopiya, atom-emission tahlil, oltin va kumushni aniqlash uchun probirkali tahlil usullari tanlandi.



1-rasm. “Yoshlik-I” konining aralash mis rudalarining mineralogik tarkibi.

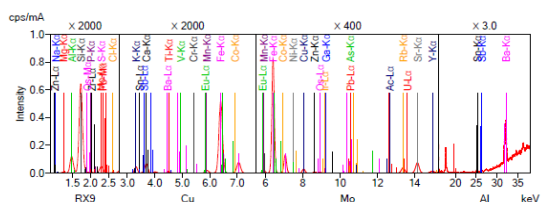
Kimyoviy va mineralogik tahlillar aralash mis rudalaridan olingan namunalar asosida “Olmalıq KMK” AJ Markaziy analitik laboratoriyasi hamda “Navoiy KMK” AJ Markaziy ilmiy-tadqiqot laboratoriyasida bajarildi. Fazaviy tahlil va zarracha oʻlchamlarini aniqlash ishlari esa Oʻzbekiston–Yaponiya yoshlar innovatsion markazida hamda Mineral resurslar instituti (MRI) mutaxassislari tomonidan amalga oshirildi [2; b. 51–59].

Qimmatbaho va noyob metallar miqdorini aniqlash uchun yuqori samarali energodispersiv rentgen-fluorestscent spektrometri (NEX CG RIGAKU)dan foydalanildi. Ushbu maxsus usul “Yoshlik-I” konining aralash chiqindi rudalarining modda tarkibini chuqur oʻrganish imkonini berdi.

Kimyoviy tahlil maʼlumotlariga koʻra, sulfid ruda oʻrta namunada quyidagi tarkibga ega: %: SiO₂ - 47,4; Al₂O₃ -13,7; MgO - 7,93; SO₃ - 3,06; K₂O - 2,8; CaO - 13,8; Fe₂O₃ - 9,67; CuO - 0,204; ZnO - 0,06; Ga₂O₃ - 0,0042; As₂O₃ - 0,0114; SeO₂ - 0,0009; Rb₂O - 0,0207; SrO - 0,0238; Au - 0,0019; Ag - 0,0019; PbO -0,0155; NiO - 0,0023; Co₂O₃ - 0,0153; MnO - 0,255; Cr₂O₃ - 0,0055; V₂O₅ - 0,0423; TiO₂ - 0,588; Ac - 0,0070; Cl - 0,0264; Sb₂O₃ - 0,0029; BaO - 0,0285; OsO₄ - 0,00043; Eu₂O₃ - 0,05; U₃O₈ - 0,001.

Analyzed result(FP method)					
No.	Component	Result	Unit	Stat. Err.	LLQ
1	Cl	0.0561	mass%	0.0005	0.0004
2	Na	2.52	mass%	0.0077	0.0064
3	Mg	2.17	mass%	0.0208	0.0266
4	Al	13.4	mass%	0.0237	0.0097
5	Si	43.2	mass%	0.0270	0.0013
6	P	(0.0140)	mass%	0.0025	0.0066
7	S	1.18	mass%	0.0033	0.0006
8	K	9.72	mass%	0.0339	0.0112
9	Ca	11.4	mass%	0.0314	0.0191
10	Ti	0.799	mass%	0.0062	0.0064
11	V	0.0467	mass%	0.0022	0.0055
12	Cr	0.0069	mass%	0.0008	0.0022
13	Mn	0.582	mass%	0.0059	0.0053
14	Fe	13.5	mass%	0.0210	0.0030
15	Co	(0.0256)	mass%	0.0036	0.0108
16	Ni	0.0050	mass%	0.0005	0.0012
17	Cu	0.255	mass%	0.0021	0.0006
18	Zn	0.0461	mass%	0.0008	0.0005
19	Ga	0.0085	mass%	0.0003	0.0005
20	As	0.0118	mass%	0.0003	0.0005
21	Rb	0.0737	mass%	0.0005	0.0002
22	Sr	0.131	mass%	0.0006	0.0002
23	Y	0.0091	mass%	0.0002	0.0005
24	Zr	0.541	mass%	0.0048	0.0014
25	Mo	(0.0055)	mass%	0.0016	0.0027
26	Sn	0.0077	mass%	0.0006	0.0010
27	Sb	(0.0038)	mass%	0.0006	0.0014
28	Ba	0.175	mass%	0.0032	0.0052
29	Os	(0.0074)	mass%	0.0013	0.0040
30	Ir	(0.0038)	mass%	0.0008	0.0022
31	Pb	(0.0045)	mass%	0.0006	0.0017
32	Eu	(0.105)	mass%	0.0129	0.0377
33	Ac	0.0101	mass%	0.0004	0.0007
34	U	(0.0032)	mass%	0.0004	0.0012

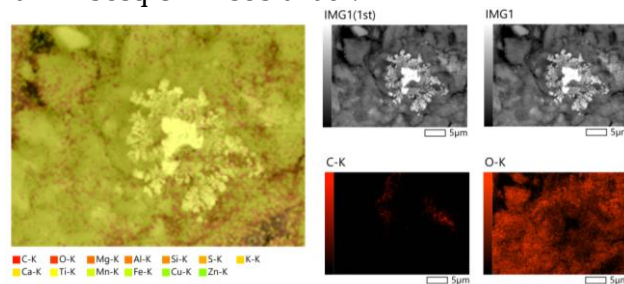
Spectrum



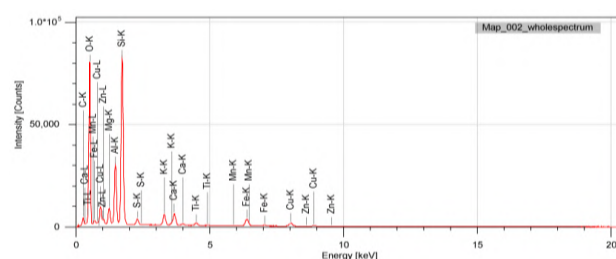
2-rasm. “Yoshlik-I” konidagi aralash mis rudalarining moddiy tarkibi.

Kimyoviy tahlil natijalariga koʻra, oʻrta namunadagi aralash rudada quyidagi moddalar mavjud: %: SiO₂ - 54,3; Al₂O₃ - 16,5; MgO - 2,49; SO₃ - 1,49; K₂O - 5,72; Na₂O - 2,52; CaO - 7,26; Fe₂O₃ - 7,96; CuO - 0,119; ZnO - 0,0214; Ga₂O₃ - 0,0042; As₂O₃ - 0,0057; SnO₂ - 0,0037; Rb₂O - 0,00295; SrO - 0,0566; Au - 0,0019; Ag - 0,0017; PbO - 0,0018; NiO - 0,0022; MnO - 0,312; TiO₂ - 0,571; Ac - 0,0037; Cl - 0,028; Sb₂O₃ - 0,0017; U₃O₈ - 0,0014; MoO₃ - 0,003; Co₂O₃ - 0,0132; BaO - 0,0761; Cr₂O₃ - 0,0042; V₂O₅ - 0,0352.

Zaxiradagi rudalardan ortib qolgan chiqindilardan noyob va nodir metallarni taqsimlanishini oʻrganish maqsadida monominerallar – pirit, xalkopirit, molibdenit va boshqalar tanlab olindi. Tadqiqot natijalariga koʻra, aralash rudalardagi qimmat metallar taqsimlanishi (g/t) quyidagicha aniqlangan: Au - 12,2; Ag - 41,2; Pd - 0,25; Pt - 0,20; Rh - 0,02; Ru - 0,93; Os - 0,015. Aralash rudalarning turli minerallashtirilganligi sababli, minerallar tarkibi va ularning mavjudlik shakllarini aniqlash maqsadga muvofiq deb topildi. Bu maqsadda turli tadqiqot metodlari qoʻllanilib, mineral tarkibini aniqlash va keyinchalik boyitish metodikasini tanlash ishlari olib borildi. Skanerlovchi elektron mikroskop (SEM) JSM-IT200 yordamida oʻtuzilishini tkazilgan tahlillar oʻrganilayotgan obyektlarning elementar, minerallar tarkibi va aniqlashga qaratilgan kompleks tadqiqotlarning muhim bosqichi hisoblanadi.

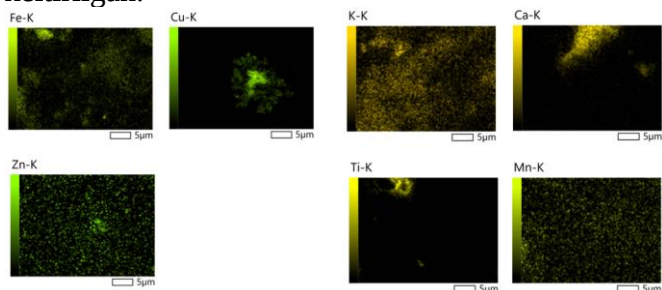


3-rasm. Namunaning butun yuzasining umumiy elementar tahlili.



4-rasm. A7 namunalari tahlil natijalari.

O'rganilgan elementlar yuzasi asosan misdan iborat bo'lib, temir minerallarining izlari aralashgan bo'lib ular oltingugurt bilan birikib, temir sulfid minerallarini hosil qiladi. Shuningdek, yuqori cho'qqida sezilarli miqdorda kalsit mavjud. Tahlil natijalariga ko'ra, o'rganilgan namunadagi mis miqdori 0,17% ni tashkil qiladi. Mis sulfidining tuzilishi zich bo'lganligi sababli, namunaning ba'zi qismlarida yorqin va biroz yashil rangda aks ettiradi. Bu esa asosan oltingugurt bilan bog'liq. Shu bilan birga, A7 namunalari EDS (energodispersiya spektroskopiyasi) orqali moddiy tarkibi bo'yicha ham o'rganilgan, natijalar quyidagi rasmlarda keltirilgan.



5-rasm. A7 namunalari bo'yicha energodispersiya spektroskopiyasi (EDS) tahlili natijalari.

Spektr 005 da namunaning misli yuzasi ko'rsatilgan bo'lib, o'rganilgan namunada mis miqdori 0,17% ga teng. Mis sulfidlar bilan birikkan va shu paytda cho'kma temir sulfid minerallari bilan tepadagi piklar bir-biriga mos keladi. Mis asosan xalkopirit mineralida mavjud bo'lib, qo'shimcha ravishda titan, alyumin, kvarts va kalsit minerallari uchraydi.

Natijalar. Oltin qayta ishlash zavodlarida kammiqdorli texnogen chiqindilarni boyitish texnologiyasini ishlab chiqishda, minerallarni zichlik xususiyatlariga asoslangan gravitatsion kuch maydonida ajratish prinsipi bo'yicha turli konsentratorlar sinovdan o'tkazildi. Tadqiqotning dastlabki bosqichida "Olmaliq KMK" AJning aralash balansdan tashqari mis rudalarida 100–400 mkm o'lchamdagi tabiiy oltin zarralari mavjud emasligi aniqlangan. >70 mkm o'lchamdagi zarrachalardan olingan konsentratlarda ham oltin topilmadi. Bu zavodlarning texnologik bo'g'inlarida yirik kristalli tabiiy zarralar juda kam miqdorda bo'lib, faqat mayda oltin mavjudligiga bog'liq.

Ushbu xulosa gravitatsion boyitish tadqiqotlari vaqtini qisqartirdi, chunki vintli separatorlar, selektor mashinalari va shlyuzlar kabi yirik metall zarrachalarini ajratishga mo'ljallangan uskunalarining samaradorligi yetarli bo'lmadi. Shu bois, sanoat qo'llanilishi uchun yuqorida sanab o'tilgan uskunalar yetarli natija bermadi. Shuningdek, uzoq yillar davomida texnogen chiqindilarni saqlash natijasida tarkiblarining o'zgarishi aniqlangan [4; S.29-33].

"NKMK" AJ Markaziy ilmiy tadqiqot laboratoriyasi sharoitida texnogen chiqindilarni gravitatsion boyitish bo'yicha Knelson MD3 markali markazdan qochma konsentrator yordamida tadqiqotlar o'tkazildi va uning parametrlarining o'zgarishi tahlil qilindi. Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti Ilmiy-tadqiqot laboratoriyasi sharoitida boshqa texnogen chiqindilardan qimmatbaho va noyob metallarni boyitish bo'yicha laboratoriya tajribalari Knelson GX9 konsentratorida amalga oshirildi. Tadqiqotda asosiy e'tibor texnogen chiqindilarda mavjud, zichligi yuqori bo'lgan qimmatbaho va noyob metallarga qaratildi, ular markazdan qochma maydonda samarali ajralalishi kuzatildi.

Aralash namunaning boyitish tajribalari 10 kg dastlabki materialdan o'tkazilib, gravitatsion konsentratsiyaning 1-bosqichida 90G, 2-bosqichida 120G markazdan qochma kuch, suv sarfi mos ravishda 2 l/daq va 5 l/daq bilan amalga oshirildi. Gravitatsion boyitishdan so'ng aralash rudalardan olingan gravitatsiya boyitmasi qimmatbaho metallar bilan boy bo'lib, uning tarkibi quyidagicha: oltin o'rtacha 14,31–20,12 g/t, kumush 59,42–67,3 g/t saqlaydi. Olingan qimmatbaho metall konsentrati keyinchalik konvertorli eritishga yo'naltirilishi mumkin, bunda oltin, kumush va mis xomaki mis fazasiga o'tadi. Boyitish chiqindilarining tarkibida umumiy mis hajmidan 73,13% mis qolgan bo'lib, bu dastlabki rudaning mis tarkibi 0,2025% edi. Boyitishdan keyingi chiqindilarning holati pulpa shaklida bo'lib, Q:S nisbatida 1:4 ga teng, bu esa ularni gidrometallurgik texnologiyada qayta ishlashga mosligini anglatadi.

O'tkazilgan tajribalar seriyasi natijasida, balansdan tashqari rudalaridan mis va qimmatbaho metallarni kompleks ajratib olish texnologik sxemasi ishlab chiqilgan. Shu bilan, past konsentratsiyali mis mahsulotiga misni cho'ktirish bilan

agitatsion yuvish usulini qo'llash maqsadga muvofiqdir. Shu paytda ekstraksion va sorbsion usullar iqtisodiy nuqtai nazardan rentabellikka ega emas [6; S.42-51].

Misli chiqindilarning fazaviy tahlili yuqori erituvchanlikni ko'rsatib, sulfat kislota eritmasida yaxshi natija bergan. Olingan sulfatli mis eritmasi yuqori miqdordagi aralashmalar bilan ifloslangan bo'lib, ularning miqdori mis elektrolizi jarayoni bilan cheklangan. Laboratoriya tadqiqotlari natijasida misni tanlab eritishning optimal parametrlarini va temir chiqindilaridan foydalangan holda misni cho'ktirish usulini aniqlash mumkin bo'ldi.

Xulosa. Birinchi marta aralash mis rudalaridan qimmatbaho metallarning markazdan qochiruvchi konsentratsiyasi orqali kombinatsiyalangan texnologiya ishlab chiqildi, bunda qimmatbaho metallarning konsentrat fazasiga o'tishi ta'minlandi, shuningdek, oltin, kumush va misni selektiv ajratib olish uchun sorbsiya usuli bilan tanlab eritish ishlari olib borildi va boyitishdan qolgan mahsulotlardan misni sulfatli eritma

yordamida ajratib olishning optimal parametrlari aniqlandi.

Aralash mis rudalarini birinchi bosqichda markazdan qochiruvchi kuch 90G da boyitish uchun optimal parametrlar belgilandi. Suv sarfi 2 l/daq bo'lib, oltinning asosiy miqdorini konsentrat-siyalash natijasida olinadigan umumiy gravitatsion konsentratda oltin tarkibi o'rtacha 14,31–20,12 g/t, oltinning ajratilish darajasi esa 72,98–77,95% ni tashkil etdi. Ikkinchi bosqichda markazdan qochiruvchi kuch 120G, suv sarfi 5 l/daq bo'lib, gravitatsion boyitish natijasida kumush konsentrati 59,42–67,3 g/t tarkibida va ajratilish darajasi 68,46–69,95% ga yetkazildi.

O'tkazilgan tajribalar seriyasi natijasida aralash mis rudalaridan mis va qimmatbaho metallarning kompleks ajratib olinishi texnologik sxemasi ishlab chiqildi, barcha jarayonlarning optimal parametrlari aniqlanib, ishlab chiqarish miqyosida jihozlash uchun apparat zanjir sxemasi asoslandi. Metallarning material balansiga ko'ra, oltinning ajratilish darajasi 66,88%, kumush 60,46%, mis esa 85,40% ni tashkil qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Sanakulov, K. S. (2019). Texnogen xomashyoni qayta ishlash muammolarini hal etishning kontseptual asoslari. In "Olmaliq KMK texnogen konlarini qayta ishlash masalalarini hal etishning zamonaviy muammolari va innovatsion texnologiyalari" mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari (pp. 18–21).
2. Vokhidov, B., Hasanov, A., Babayev, M., Mamaraimov, G., & Yandashev, A. (2024, May). New technologies for processing tailings of a copper processing plant for the extraction of platinoids. *Acta Innovations*, (52), 51–59. <https://doi.org/10.62441/ActaInnovations.52.6>
3. Vokhidov, B. R., Khasanov, A. S., Tolibov, B. I., Saidakhmedov, A. A., & Babaev, M. Sh. (2023). Development of technology for processing off-balance waste ores with a pilot test for the integrated extraction of precious metals. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 14(3), 2336–2344. (pnrjournal.com)
4. Xursanov, A. X., Xasanov, A. S., Abduqadirov, A. A., & Vohidov, B. R. (2021). Platinoyidlar texnologiyasi. Toshkent: Muharrir.
5. Vokhidov, B. R. (2021). Development and improvement of technology for extraction of precious metals from technogenic raw materials. *Universum: Технические науки*, 12(93), 11–15.
6. Vokhidov, B. R. (2022). New horizons processing of technogenic waste of the copper industry. *The American Journal of Applied Sciences*, 4(5), 42–51.

UO‘K: 622.7

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.34

GMZ-2 SHAROITIDA SORBSIYALASH JARAYONI CHIQINDI BO‘TANALARIDAN RANGLI METALLARNI AJRATIB OLISH TEXNOLOGIYASINI TADQIQ QILISH



**Voxidov Baxriddin
Raxmidinovich**

Texnika fanlar doktori DSc,
professor, Navoiy davlat konchilik
va texnologiyalar universiteti,
Navoiy, O‘zbekiston
E-mail:
bakhriddin.vokhidov@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-0819-6752



**Babayev Mirdodojon
Sharofjon o'g'li**

Texnika fanlari bo'yicha falsafa
doktori PhD, Navoiy davlat
konchilik va texnologiyalar
universiteti, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail:
babayevmirdodojon@mail.ru
ORCID ID: 0009-0001-8669-8774



**Yandashev Alisher Anvar
o'g'li**

Assistent, Navoiy davlat konchilik
va texnologiyalar universiteti,
Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: karmana.tiger@gmail.com
ORCID ID : 0009-0002-9683-3201



**Hamroyeva Muhabbat
Habib qizi**

Magistr, Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti, Navoiy,
O‘zbekiston
E-mail: khamrayeva.29@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu tadqiqot GMZ-2 sorbenti yordamida chiqindi bo‘tanalaridan rangli metallarni ajratib olish texnologiyasini o‘rganishga qaratilgan. Chiqindi bo‘tanalarining atrof-muhitga salbiy ta’siri va rangli metallarni qayta ishlash orqali ularning qayta ishlanishi hozirgi kunda dolzarb masalalardan biridir. Rangli metallarni ajratib olishda sorbsiyalash jarayoni samarali va ekologik toza usul sifatida e’tirof etilmoqda. Tadqiqotda GMZ-2 materialining sorbsiyalash xususiyatlari, pH darajasi, harorat, vaqti va boshqa omillar ta’siri ostida rangli metallarni sorbsiyalash samaradorligi o‘rganildi. **Kalit so‘zlar:** Rangli metallar, chiqindi bo‘tanalar, sorbent materiallari, qayta ishlash texnologiyasi, ekologik ta’sir, kimyoviy jarayonlar, fizik-kimyoviy jarayonlar, metall ionlari.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ОТХОДОВ СОРБЦИОННОГО ПРОЦЕССА В УСЛОВИЯХ ГМЗ-2

**Вохидов Бахриддин
Рахмидинович**

Доктор технических наук,
профессор Навоийского
государственного горно-
технологического университета,
Навои, Узбекистан

**Бабаев Мирдодожон
Шарофжон угли**

Доктор философии (PhD) по
техническим наукам, Навоийский
государственный горно-
технологический университет,
Навои, Узбекистан

**Яндашев Алишер
Анвар угли**

Ассистент, Навоийский
государственный горный и
технологический университет,
Навои, Узбекистан

**Хамроева Мухаббат
Хабиб кизи**

Магистр, Навоийский
государственный горный и
технологический университет,
Навои, Узбекистан

Аннотация. Это исследование направлено на изучение технологии извлечения цветных металлов из отходов растительных материалов с использованием сорбента GMZ-2. Негативное воздействие отходов растительных материалов на окружающую среду и переработка цветных металлов являются актуальными проблемами в настоящее время. Процесс сорбции признан эффективным и экологически чистым методом для извлечения цветных металлов. В ходе исследования были изучены сорбционные характеристики материала GMZ-2, а также влияние таких факторов, как уровень pH, температура, время и другие параметры на эффективность сорбции цветных металлов.

Ключевые слова: Цветные металлы, отходы растительных материалов, сорбентные материалы, технологии переработки, экологическое воздействие, химические процессы, физико-химические процессы, металлические ионы.

STUDY OF THE TECHNOLOGY FOR EXTRACTING COLORED METALS FROM WASTE PLANT MATERIALS USING SORPTION IN GMZ-2 CONDITIONS

**Vokhidov Bakhridin
Rakhmidinovich**

Doctor of Technical Sciences,
Professor of Navoi State Mining
and Technology University, Navoi,
Uzbekistan

**Babaev Mirdodojon
Sharofjon ugli**

Doctor of Philosophy (PhD) in
Technical Sciences, Navoi State
Mining and Technology University,
Navoi, Uzbekistan

**Yandashev Alisher Anvar
ugli**

Assistant, Navoi State Mining and
Technology University,
Navoi, Uzbekistan

**Hamroeva Muhabbat
Habib kizi**

Master's degree, Navoi State
Mining and Technology University,
Navoi, Uzbekistan

Abstract. This study focuses on investigating the technology for extracting colored metals from waste plant materials using the GMZ-2 sorbent. The negative impact of waste plant materials on the environment and the recycling of colored metals are current pressing issues. The sorption process is recognized as an effective and environmentally clean method for extracting colored metals. The study examined the sorption properties of the GMZ-2 material, as well as the influence of factors such as pH level, temperature, time, and other parameters on the efficiency of colored metal sorption.

Keywords: Colored metals, waste plant materials, sorbent materials, recycling technology, environmental impact, chemical processes, physicochemical processes, metal ions, economic efficiency.

Kirish. Chiqindi bo'tanalarining tashlanishi va atrof-muhitga ta'siri hozirgi kunda ekologik muammolarni keltirib chiqarmoqda. Dunyo bo'ylab sanoat va maishiy chiqindilarining ortishi, shu jumladan rangli metallarni o'z ichiga olgan chiqindilar, atrof-muhitni ifloslantirib, inson salomatligiga jiddiy xavf solmoqda. Rangli metallar, masalan, mis (Cu), qo'rg'oshin (Pb), nikel (Ni) va boshqa og'ir metallar, asosan sanoat ishlab chiqarish, qurilish materiallari va elektronika chiqindilaridan olinadi. Ushbu metallarni ajratib olish va qayta ishlash, nafaqat iqtisodiy samaradorlikni oshiradi, balki atrof-muhitni ifloslanishdan himoya qiladi. Rangli metallarni ajratib olish uchun mavjud texnologiyalar orasida sorbsiyalash jarayoni samarali va ekologik jihatdan toza usul sifatida tanilgan. Sorbsiyalash jarayonida, zarur moddalarning ionlari yoki molekulalari, sorbent materiallari tomonidan yutiladi. Bu usul chiqindi materiallaridan rangli metallarni ajratib olishda keng qo'llanilmoqda. Sorbsiyalash jarayonining samaradorligi, sorbentning xususiyatlariga, shuningdek, jarayon sharoitlariga bog'liq. GMZ-2 – bu rangli metallarni ajratib olishda ishlatiladigan yuqori samarali sorbent materialidir. GMZ-2 ning kimyoviy tarkibi va

fizikaviy xususiyatlari uni chiqindi bo'tanalaridan rangli metallarni ajratib olish uchun samarali vosita qiladi. Bu material yuqori yutish qobiliyatiga ega bo'lib, rangli metallarni ajratish samaradorligini oshiradi. Shuning uchun, GMZ-2 sorbentini qo'llash rangli metallarni qayta ishlash jarayonini ekologik jihatdan toza va iqtisodiy samarali qilish imkonini beradi. Ushbu tadqiqotning maqsadi GMZ-2 sharoitida sorbsiyalash jarayonini o'rganish, rangli metallarni chiqindi bo'tanalaridan ajratib olish texnologiyasini optimallashtirish va uning samaradorligini tahlil qilishdir. Tadqiqotda sorbsiyalash jarayonini boshqaruvchi omillar — pH darajasi, harorat, vaqti va boshqa fiziko-kimyoviy sharoitlarning ta'siri o'rganiladi. Shuningdek, bu tadqiqotning natijalari chiqindi bo'tanalaridan rangli metallarni ajratib olishda GMZ-2 materialining afzalliklarini namoyon etishi kutilmoqda.

Texnogen chiqindilar turlari — bu sanoat jarayonlari natijasida hosil bo'ladigan ikkilamchi xomashyolardir. Ular quyidagi asosiy guruhlariga bo'linadi: konsentratlar, shlaklar va katalizatorlar. Konsentratlar — metallurgik jarayonlardan olingan, metall miqdori yuqori bo'lgan materiallar bo'lib, ko'pincha ruda sifatida saqlanadi. Shlaklar —

metall ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'ladigan qattiq qoldiqlar bo'lib, ular tarkibida noyob yoki rangli metallar bo'lishi mumkin. Katalizatorlar esa kimyo sanoatida ishlatilganidan so'ng o'z faol xususiyatini yo'qotgan, biroq qimmatbaho komponentlarni o'z ichiga olgan texnogen chiqindilardir.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Rangli metallarni chiqindi bo'tanalaridan ajratib olish texnologiyalari sohasida bir qancha ilmiy tadqiqotlar amalga oshirilgan. Ushbu tadqiqotlarning ko'pchiligi chiqindi materiallardan foydali metallarni ajratish uchun turli usullarni, jumladan, fizikaviy, kimyoviy va biotexnologik jarayonlarni o'rganishga qaratilgan. Sorbsiyalash jarayoni bu usullardan biri bo'lib, chiqindi materiallardan metallarni ajratish uchun keng qo'llanilmoqda. [1].

2-GMZ texnogen chiqindilaridan metallarni ajratib olish jarayonlari ekologik xavfsizlikni yaxshilash va qayta ishlash samaradorligini oshirishda katta rol o'ynaydi. Ayniqsa, boyitish jarayonlarida zararli moddalar miqdori kamayishi, chiqindilarni qayta ishlash va tabiiy resurslardan samarali foydalanish kabi muhim jihatlar metallurgiya sohasining afzalliklaridan biri hisoblanadi. Tadqiqotda, 2-GMZ sorbsiyalash jarayoni bo'tana texnogen chiqindilarini materialining rangli metallarni sorbsiyalash jarayonidagi samaradorligi o'lchandi va ularning pH muhit tasiri o'rganilgan. Olingan natijalar jadvalda keltirilgan turli eksperimental sharoitlarda o'rganilgan. Har bir metodning afzalliklari va cheklovlari aniq belgilab, ularning o'zaro ta'sirini yaxshilash va jarayonlarni optimallashtirish yo'llari ko'rsatilgan [3].

Ajratish usullari — bu texnogen chiqindilardan rangli va noyob metallarni qayta tiklashda qo'llaniladigan asosiy texnologik jarayonlardir. Ular to'rt guruhga bo'linadi: kimyoviy, fizik, biologik va termal usullar. Kimyoviy ajratishda metall ionlari turli eritmalar orqali kimyoviy reaksiya va eruvchanlik xususiyatlariga ko'ra ajratiladi. Fizik metodlar magnit ajratish yoki flotatsiya kabi jarayonlarga asoslanib, metall zarrachalarini jismoniy xususiyatlariga qarab ajratadi. Biologik metodlarda esa ayrim bakteriyalar va mikroorganizmlar chiqindilardagi metall birikmalarni parchalab, ularni qayta tiklash imkonini beradi. Termal usullar yuqori haroratda eritish yoki qizdirish orqali metallarning ajralishini ta'minlaydi.

Natijalar. Tadqiqotda GMZ-2 sorbsiyalash jarayoni bo'tana texnogen chiqindilarining tarkibidagi rangli metallarning sorbsiyalash jarayoni samaradorligi va shu bilan birga bu jarayonga pH muhitning tasiri o'rganildi. Har bir usulning samaradorligi va parametrlar bo'yicha olingan natijalar quyida keltirilgan.

Sorbsiyalash jarayonining natijalari. Sorbsiyalash jarayonida olingan boyitma va chiqindilar tahlil qilingan. Quyidagi jadvalda gravitatsiya boyitish natijalari keltirilgan:

- pH daraja;
- Rangli metallar;
- Sorbsiya samaradorligi.

1-jadval

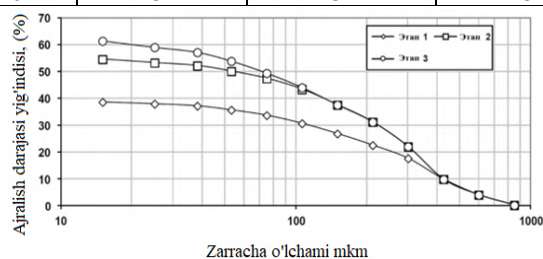
Sorbsiyalash natijalari

pH darajasi	Rangli Metallar (Cu, Pb)	Sorbsiya Samaradorligi (%)
3	Cu: 150 mg/L, Pb: 100 mg/L	85%
5	Cu: 200 mg/L, Pb: 120 mg/L	90%
7	Cu: 250 mg/L, Pb: 130 mg/L	95%
9	Cu: 180 mg/L, Pb: 110 mg/L	87%

2-jadval

Turli pH muhitlarda rangli metallarni yutilish darajalari

pH darajasi	Mis (Cu) Yutish (%)	Qo'rg'oshin (Pb) Yutish (%)	Nikel (Ni) Yutish (%)
4	75	82	68
6	85	88	80
8	90	89	85
10	87	84	78

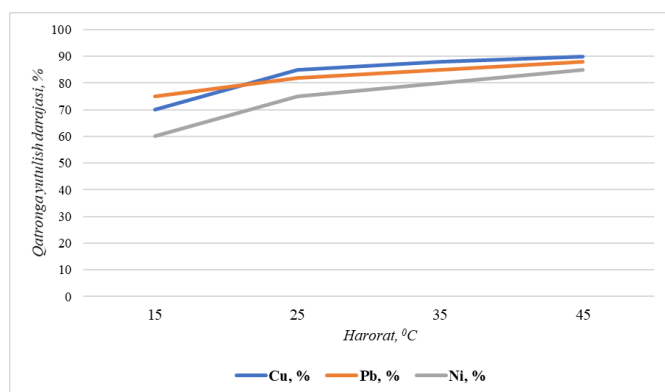


1-rasm. Har bir bosqich uchun zarrachalar o'lchamini ajralish darajasiga bog'liqlik grafigi.

3-jadval

Turli haroratlarda metallarni sorbsiyalanish darajasi

Harorat (°C)	Mis (Cu) Yutish (%)	Qo'rg'oshin (Pb) Yutish (%)	Nikel (Ni) Yutish (%)
15	70	75	60
25	85	82	75
35	88	85	80
45	90	88	85



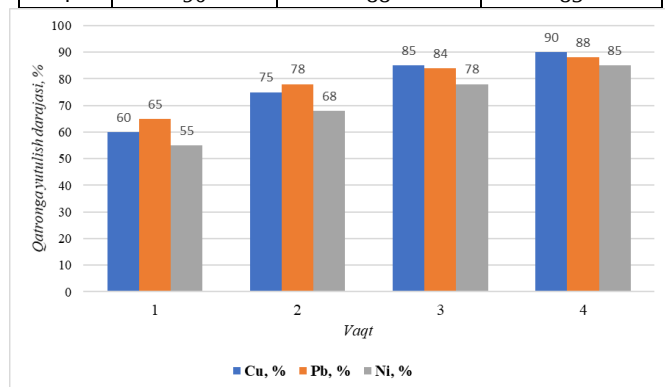
2-rasm. Eritmadagi metallarni qatronga yutilishining haroratga bog'liqlik grafiki.

Haroratning o'zgarishi bilan sorbentning rangli metallarni yutish samaradorligi qanday ta'sirlanishini ko'rsatadi. Bu jadvalda haroratning yutish samaradorligiga qanday ijobiy yoki salbiy ta'sir qilishini tasvirlaydi.

4-jadval

Turli vaqt birligidagi sorbsiyalash jarayoniga ta'sirini

Vaqt (soat)	Mis (Cu) Yutish (%)	Qo'rg'oshin (Pb) Yutish (%)	Nikel (Ni) Yutish (%)
1	60	65	55
2	75	78	68
3	85	84	78
4	90	88	85



3-rasm. Eritmadagi metallarni qatronga yutilishining vaqtga bog'liqlik grafiki.

Sorbsiyalash jarayoni davomida vaqt o'tishi bilan rangli metallarni yutish samaradorligining qanday o'zgarishini ko'rsatish mumkin. Bu, odatda, jarayonning optimal vaqtini topish uchun foydalidir.

Xulosa. Ushbu tadqiqotda GMZ-2 sorbentining chiqindi bo'tanalaridan rangli metallarni ajratib olishdagi samaradorligi keng qamrovda va chuqur tahlil qilindi. Olingan eksperimental natijalar shuni ko'rsatdiki, GMZ-2 sorbenti metall

ionlarini yutishda yuqori selektivlik va yuqori sorbsion qobiliyatga ega. Ayniqsa, pH darajasi 6–8 oralig'ida va harorat 25–35°C sharoitida eng maqbul natijalar qayd etildi. Bu ko'rsatkichlar shuni anglatadiki, sorbentning ishlash mexanizmi aynan tabiiy sharoitga yaqin muhitda yuqori darajada samarali bo'lib, uni amaliyotda qo'llash imkoniyatlari keng ekanligini isbotlaydi.

Tadqiqot davomida GMZ-2 sorbenti nafaqat samaradorligi, balki ekologik barqarorligi bilan ham ajralib turishi aniqlandi. Rangli metallarni chiqindilardan ajratib olish jarayonida ko'plab texnologik usullar mavjud bo'lsa-da, GMZ-2 asosidagi sorbsiyalash usuli atrof-muhitga minimal zarar yetkazadi va xavfsiz, tejamkor texnologiya sifatida ajralib turadi. Bu esa uni barqaror rivojlanish tamoyillariga javob beradigan yechimlardan biriga aylantiradi. Shuningdek, ushbu sorbentning sanoat miqyosida keng joriy etilishi chiqindilarni qayta ishlash tizimini takomillashtirish, rangli metallarning ikkilamchi manbalaridan samarali foydalanish hamda tabiiy resurslarga bo'lgan bosimni kamaytirishda beqiyos ahamiyat kasb etadi.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, GMZ-2 sorbenti asosida yaratilgan texnologiya kelajakda ekologik toza, iqtisodiy samarali va innovatsion yechimlardan biri sifatida rivojlanish istiqboliga ega. Mazkur texnologiya yordamida chiqindilar tarkibidagi qimmatbaho va rangli metallarni qayta ishlash orqali iqtisodiyot uchun qo'shimcha qiymat yaratiladi, ishlab chiqarish tannarxi pasayadi va korxonalar uchun moliyaviy samaradorlik oshadi. Shuningdek, ushbu yondashuv orqali atrof-muhitni muhofaza qilish, chiqindi oqimlarini kamaytirish va ekologik xavfsizlikni ta'minlash imkoniyatlari sezilarli darajada kengayadi.

Ilmiy nuqtayi nazardan, mazkur tadqiqot sorbsiyalash texnologiyalarining fundamental asoslarini rivojlantirishga xizmat qiladi. Olingan natijalar sorbsiya kinetikasi, diffuziya jarayonlari va ion-almashinish mexanizmlarini chuqurroq tushunishga imkon beradi. Shu bilan birga, bu tadqiqot akademik hamkorlik uchun ham yangi istiqbollar yaratadi. Xususan, GMZ-2 sorbentining qo'llanilishi xalqaro miqyosda ekologik muammolarni hal etishda, yangi sorbent materiallarini ishlab chiqishda va resurslarni qayta ishlash bo'yicha global loyihalarda muhim o'rin tutishi mumkin.

Xulosa qilib aytganda, GMZ-2 sorbenti

chiqindi boʻtanalaridan rangli metallarni samarali ajratib olishda yuqori natija koʻrsatdi. Tadqiqot natijalari ekologik toza texnologiyalarni yaratish, iqtisodiy samaradorlikni oshirish, resurslarni tejash va ekologik xavfsizlikni taʼminlash borasida yangi

imkoniyatlar yaratdi. Ushbu yondashuv nafaqat Oʻzbekiston, balki butun dunyo uchun dolzarb boʻlgan ekologik va iqtisodiy muammolarga yechim taklif qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR ROʻYXATI

1. Jumaniyozov, K. (2017). Chiqindi suvlaridan ogʻir metallarni ajratib olishning yangi usullari. Tabiat resurslari va atrof-muhitni muhofaza qilish, 12(1), 45–52.
2. Tashpulatov, A., & Mamatov, R. (2018). Chiqindilarni qayta ishlashda sorbsiyalash jarayonining ahamiyati. Kimyo va ekologiya, 7(3), 34–40.
3. Mahmudov, S. (2020). Sorbentlar yordamida ogʻir metallarni ajratish texnologiyalarining rivojlanishi. Oʻzbekiston kimyo jurnali, 15(4), 80–88.
4. Miller, P. C. (1997). The design and operating practice of bacterial oxidation plant using moderate thermophiles. In D. E. Rawlings (Ed.), Biomining: Theory, microbes and industrial processes. Berlin: Springer-Verlag.
5. Вохидов, Б. Р., & Хасанов, А. С. (2021, 6–9 сентября). Исследование и разработка технологии извлечения металлов платиновых групп из техногенного сырья АО «АГМК». В XIV Международная научно-практическая конференция «Металлургия цветных, редких и благородных металлов» (с. 29–32). Красноярск, Россия: Сибирское отделение РАН.

GEOLOGIYA VA NEFT-GAZ SANOATI
ГЕОЛОГИЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
GEOLOGY AND OIL-GAS INDUSTRY

UO‘K: 622.692:620.193 (575.1)

 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.12

KONLARDA NEFT VA GAZ MAHSULOTLARINI BIRLAMCHI YIG‘ISH,
SAQLASH VA TASHISH USKUNALARIGA TA’SIR ETUVCHI OMILLAR
HAMDA ULARNING KORROZIYAGA QARSHILIGI VA GIDROABRAZIV
ISHONCHLILIGINI TA’MINLASH



**Dustqobilov Eldor
Nurmatovich**

Dotsent, Qartshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O‘zbekiston



**Yuldashev Tashmurza
Raxmonovich**

Professor, Qartshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O‘zbekiston



**Djumabayev Alijon
Bakishyevich**

Professor, Qartshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Konlarda neft va gaz sohasidagi magistral quvuruzatmalarida gazlar asosan metall quvurlar orqali uzoq masofaga tashiladi. Neft va neft mahsulotlari birlamchi kon sharoitida zaxarli birikmalardan tozalanadi va sisternalarga yuklash davrigacha katta rezervuarda saqlanib turiladi. Shuning uchun gazquvurlari orqali haydaladigan tabiiy gazlarni nordon komponentlardan tozalanganda ularning tarkibida tajavuzkor aralashmalarining elementlarini qolishi natijasida kimyoviy jarayonlarni keltirib chiqarish va salbiy ta’sir qilish holatlari o‘rganilgan.

Kalit so‘zlar: korroziya, yig‘ish, tashish, bardoshlilik, zaxarli komponentlar, geterokompozit materiallar, oksidlar, karbonatlar.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРВИЧНОГО
СБОРА, ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТЕГАЗОВЫХ
ПРОДУКТОВ В УСЛОВИЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИХ
КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ И НАДЕЖНОСТИ К
ГИДРОАБРАЗИВНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

**Дустқобиллов Эльдор
Нурматович**

Доцент, Қаришский
государственный технический
университет,
Қариш, Узбекистан

**Юлдашев Ташмурза
Рахмонович**

Профессор, Қаришский
государственный технический
университет,
Қариш, Узбекистан

**Джумбабаев Алижон
Бакышевич**

Профессор, Қаришский
государственный технический
университет,
Қариш, Узбекистан

Аннотация. В нефте- и газопроводах газы транспортируются на большие расстояния в основном по металлическим трубам. Нефть и нефтепродукты очищаются от токсичных соединений в первичных полевых условиях и хранятся в большом резервуаре до погрузки в танкеры. Поэтому при очистке природных газов, перекачиваемых по газопроводам, от кислых компонентов изучено возникновение химических процессов и негативных эффектов, обусловленных наличием в их составе элементов агрессивных соединений.

Ключевые слова: коррозия, монтаж, транспортировка, прочность, токсичные компоненты, гетерокомпозиционные материалы, оксиды, карбонаты.

FACTORS AFFECTING EQUIPMENT FOR PRIMARY COLLECTION, STORAGE AND TRANSPORTATION OF OIL AND GAS PRODUCTS IN FIELDS, AND ENSURING THEIR CORROSION RESISTANCE AND RELIABILITY AGAINST HYDRO-ABRASIVE EFFECTS

**Dustkobilov Eldor
Nurmamatovich**

Docent, Karshi State Technical
University, Karshi, Uzbekistan

**Yuldashev Tashmurza
Rakhmonovich**

Professor, Karshi State Technical
University, Karshi, Uzbekistan

**Djumabaev Alijon
Bakishevich**

Professor, Karshi State Technical
University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. Oil and gas pipelines transport gases over long distances, mostly through metal pipes. Oil and petroleum products are purified from toxic compounds in the primary field and stored in a large tank before being loaded onto tankers. Therefore, when cleaning natural gases pumped through gas pipelines from acidic components, the occurrence of chemical processes and negative effects caused by the presence of aggressive compounds in their composition has been studied.

Keywords: corrosion, assembly, transportation, durability, toxic components, heterocomposite materials, oxides, carbonates.

Kirish. Korroziyaga qarshi bardoshlilikini oshiradigan materiallar va ular asosidagi kompozitlar har doim neft va gaz sohasida, neft-gaz mahsulotlarini yig'ish, tashish saqlash tizimlarida keng qo'llanilgan va qo'llanilmoqda. Respublikamizda "Muborak neft va gaz qazib chiqarish boshqarmasi", "Sho'rtan neft gaz qazib chiqarish boshqarmasi" tizimlarida qo'llaniladigan quvuruzatmalarida, saqlash rezervuarlarida metall konstruksiyali jihozlardan keng foydalaniladi va ularga mahsulotning tarkibidagi zaxarli komponentlar korroziya bardoshliligiga va gidroabrazivlik ishonchliligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi hamda ekspluatatsiya qilish muddatini qisqartiradi. Respublikamizda "Sho'rtan gaz-kimyo majmuasi va Ustyurt gaz-kimyo majmualarida poliolefinlarning keng assortimenti, xususan, polietilen va polipropilen materiallari ishlab chiqariladi. Shuning uchun polimerlar asosidagi geterokompozit materiallarning fizik-mexanik xususiyatlarini yaxshilash maqsadida ularning yangi

kompozitsiyalarini yaratish ustuvor yo'nalish hisoblanadi.

Adabiyot tahlil va metodlar. Polimer asosida olinadigan geterokompozit materiallarning fizik-mexanik xususiyatlari va tavsiflari turli komponentlar va modifikatsiyalash usullaridan foydalanilgan holda ishlab chiqariladi. Bunday komponentlardan biri turli tabiatdagi, geometrik o'lchamdagi va shakldagi to'ldiruvchi moddalar bo'lib, ular mustahkamlik, deformatsiya, korroziyaga qarshi bardoshlilik xususiyatlarini yaxshilash hamda ekspluatatsiya muddatini uzaytirish imkonini beradi. Bu esa ularning tarkibiy miqdorini oshirish darajasiga qarab tartibga solinishi mumkin. Odatda polimerlarni to'ldirish darajasi 5% dan 50% gacha o'zgarib turadi, lekin ayrim hollarda bu ko'rsatkich ekstremal qiymatlarga yetadi va to'ldiruvchi modda polimer bog'lovchi miqdoridan bir necha baravar ko'p bo'lishi ham mumkin [1].

Geterokompozit materiallarning ishlash xususiyatlarini yaxshilashda eng ko'p qo'llaniladigan

qattiq to'ldiruvchi moddalar dispers (changsimon) va tolali [1; 2] materiallarga bo'linadi hamda tashqi agressiv ta'sirlarga qarshi mustahkamlovchi sifatida xizmat qiladi.

Geterokompozit polimer materiallarni mustahkamlash — bu ularga dispers yoki tolali to'ldiruvchi moddalarni qo'shish orqali ularning chidamliligi va boshqa mexanik xususiyatlarga bardoshlilikini oshirish jarayonidir. Oksidlar, karbonatlar va boshqa noorganik birikmalar kabi dispers to'ldiruvchi moddalar polimer tuzilmasida bir tekis taqsimlanib, uning qattiqligini va bosim kuchini oshiradi. Shisha tolasi, uglerod tolasi va boshqa tolali materiallar kabi mustahkamlovchi to'ldiruvchi moddalar, hatto qayta ishlangan bo'lsa ham, polimerning valentlik va ta'sirga chidamliligini oshiradi [3].

Mualliflarning ta'kidlashicha, geterokompozit polimerlarni dispers to'ldiruvchi moddalar bilan mustahkamlash mexanizmi to'ldiruvchi moddalar polimerning elastiklik va qattiqlik modulini oshirish, ularning yo'lida to'siqlar yaratish orqali polimer matritsasida yorilishni hosil bo'lishi va tarqalishining oldini olishiga asoslanadi. Tuzilmadagi to'ldiruvchi moddalarining mustahkamlovchi ta'siri ularning tarkibi, hajmi va shakliga, shuningdek to'ldiruvchilarning taqsimlanishiga bog'liq. Polimer matritsasida to'ldiruvchi moddalarining bir xil taqsimlanishi maksimal mustahkamlovchi ta'sirni ta'minlaydi, bu esa to'ldiruvchi miqdori ortishi bilan kuchayadi [3].

Geterokompozit polimerlarni to'ldiruvchi moddalar bilan mustahkamlash mexanizmi ularning polimer matritsasiga tushadigan yukning bir qismini o'ziga singdirib, geterokompozit polimerning cho'zilish kuchi va ta'sirga chidamliligini, shuningdek qattiqligini oshirishiga asoslanadi. Ushbu nazariya geterokompozit polimerlarning mexanik xususiyatlarini oshirish mexanizmlarini tushunishga imkon beradi. Biroq, agar to'ldiruvchi modda miqdori juda yuqori bo'lsa, to'ldiruvchi moddalar va matritsa orasidagi yopishishning yomonlashishi tufayli polimerning mexanik xususiyatlari pasayishi mumkin [4].

To'ldirgichlar geterokompozit polimer yoki uning eritmasi bilan yaxshi namlanishi kerak. Agar ular tarkibida boshqa modifikatsiyalovchi yoki plastifikashtiruvchi komponentlar bo'lsa, ishlab chiqarish va ekspluatatsiya jarayonida xusu-

siyatlarining barqarorligini ta'minlaydigan bir xil tizimni tashkil etishi lozim [5; 6].

Dispers to'ldiruvchi moddalarni qo'llashda ularning konsentratsiyasini hisobga olish, dispersiyasini (zarrachalarning o'lchovlilikini) va polimer-to'ldiruvchi interfeysida hosil bo'ladigan tuzilmani aniqlash muhimdir. Tuzilma hosil bo'lish jarayoni dispersiya, tarqalishning bir xilligi, qadoqlash zichligi va polimerlanish darajasi, dispers hamda tolali to'ldiruvchi zarrachalarning tuzilishi va ketma-ketligiga bog'liq. Tizim tarkibiy qismlarining o'zaro ta'sir energiyasining muvozanatli taqsimlanishi optimal struktura hosil bo'lishiga olib keladi, bu jarayon asosan tashqi fizik yoki mexanik ta'sir ostida kechadi [7; 1].

To'ldirish darajasining oshishi polimer tar-mog'ida fazaviy o'zgarishlarga olib kelib, to'ldiruvchi yuzasida parda hosil qiladi, bu materialning mustahkamlik xususiyatlarini oshiradi. Ammo, kritik qiymatga yetadigan yuqori konsentratsiya polimerning pardali tuzilishining diskretligining ortishiga va mustahkamlik xususiyatlarining pasayishiga sabab bo'ladi [8]. Geterokompozit polimer bog'lovchisining o'z-o'zidan tashkil topishi polimer pardasi bilan qoplangan to'ldiruvchi zarrachalardan iborat polimer klasterlarining shakllanishi bilan sodir bo'ladi va bu jarayon sirt energiyasining pasayishi natijasida boshlanadi. Dispers to'ldiruvchi moddalar plyonka polimer makromolekulalari tartibli joylashganda chiziqli klasterlar hosil qiladi (1-rasm) [8].

Asosan metall oksidlaridan tashkil topgan mineral to'ldiruvchi moddalar ham termoplastiklar, ham termosetlashtiruvchi plastmassalar uchun polimer biriktiruvchi moddalar sifatida keng qo'llaniladi [8]. Bularga kaltsit, kaolin, talk, montmorillonit, bo'r, kvarts qumi, bentonit, asbest va boshqalar kiradi [4; 7].

Geterokompozit materiallarning tarkibiy qismlarini aralashtirish jarayonida ko'pincha to'ldiruvchi va polimerning faol funksional guruhlari o'rtasida o'zaro ta'sir mavjud bo'ladi. Bu polimer strukturasida molekula ichidagi va supramolekulyar o'zgarishlarga olib keladi. O'zaro ta'sir polimerlanish jarayoni va elementlar o'rtasidagi bog'lanish hosil bo'lish qonuniyatlariga muvofiq yuz beradi hamda ularning Mendeleyev davriy tizimidagi faolligi va texnologik usullariga bog'liq bo'ladi.

Mineral kelib chiqishga ega nozik dispersli

to'ldiruvchi moddalar maydalagichlarning cheklanganligi tufayli zarracha hajmi 50–100 mkm dan oshmaydi, odatda esa 20 mkm dan kichik bo'ladi. Bunday granulometrik tarkibga ega to'ldiruvchilar sanoat ishlab chiqarishining turli sohalarida ko'p funktsiyali geterokompozit materiallarni ishlab chiqishda qo'llanilishi mumkin.

Polimer makromolekulalarining makromolekulyar tuzilishi va qadoqlash zichligi bilan mineralarning ion tuzilishi o'rtasidagi katta farq polimerning amorf tuzilishdan kristall tuzilishga o'tishigacha bo'lgan supramolekulyar tuzilishidagi o'zgarishlarga olib keladi. Bu jarayonda to'ldiruvchi kristall yadro markazlarini hosil qilib, struktura o'zgartiruvchi sifatida ishtirok etadi [4; 6].

Geterokompozit materiallarni (GKM) mustahkamlash uchun eng samarali to'ldiruvchi moddalar noorganik yoki organik kelib chiqishga ega tolali to'ldiruvchilar bo'lib, armaturalash ta'sirini beradi [8; 9].

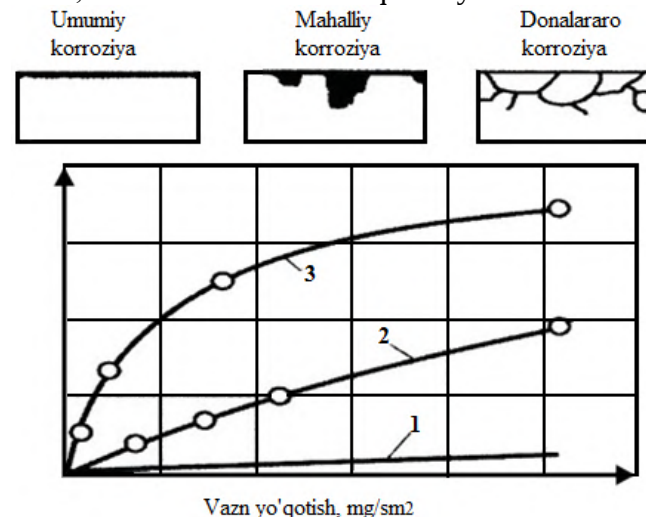
Mustahkamlovchi tolali to'ldiruvchilarning turlari, xossalari va ishlab chiqarilishi Masuelli [10] tomonidan batafsil o'rganilgan. Mualliflarning ta'kidlashicha, tolalar issiqlik ta'sirida bog'lovchi materialni mustahkamlaydi va ular o'zaro bog'langan materiallar bo'lib, stress va kuchlanish ostidagi xatti-harakatlari ko'pincha plastmassalarga o'xshaydi. Materialni loyihalashda maksimal samaradorlikni hisobga olish, funktsionallik va ishlab chiqarish imkoniyati o'rtasida optimal muvozanatni tanlash zarur, chunki bu deformatsiya mexanizmi uchun mas'ul bo'lgan makromolekulalarning xususiyatlariga ta'sir ko'rsatadi.

Agar to'ldiruvchi moddalar kompozit materiallarning mexanik xususiyatlariga ta'sir qilsa, unda, albatta, kuch xususiyatlariga ta'sir qiluvchi asosiy omillarni hisobga olish kerak. [10] da qayd etilishicha, to'ldiruvchining zarracha yuzasi va hajm nisbati asosiy omillardan biridir. To'ldiruvchining (polimineral kukun) dispersligi ortishi bilan uning funksional guruhlari va interfaza qatlamlari (van der Waals, vodorod va boshqalar) o'rtasida mustahkam bog'lanishlar hosil bo'ladi, namlanish qobiliyati yaxshilanadi, materiallarning termofizik xususiyatlari ortadi, mustahkamlik va issiqlikka chidamlilik oshadi (1-rasm). Kuzatilgan natijalar (1-jadval) [9].

Tadqiqot natijalari. Yuqorida aytib o'tilganidek, to'ldiruvchi miqdorini oshirish kompozit

materiallarning texnologik xususiyatlarini yomonlashtiradi. Bunday hollarda plastifikatorlar - past molekulyar oligomerlar yoki polimerlardan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Plastmassalash materialning mo'rtligini pasaytiradi, past harorat va harorat o'zgarishiga chidamliligini oshiradi, lekin ayni paytda issiqlikka chidamliligini, egilish, cho'zish va siqilishdagi mustahkamlikni pasaytiradi, kompozitlarning dielektrik xususiyatlarini yomonlashtiradi, shuning uchun siqilish va egilish paytida kompozitlarning mustahkamlik xususiyatlarini pasaytiradi (1-rasm) [11].

Geterokompozit polimer materiallarida tarkibiy qismlarni o'z ichiga olgan kompozitsiya mavjud bo'lib, ularning har biri o'ziga xos vazifalarni bajaradi. Bu holda asosiy komponent material hajmida bitta uzluksiz bo'shliqni egallagan bog'lovchi bo'lib, unda qolgan moddalarning zarralari tarqaladi, bu yerda tolali va dispers to'ldiruvchi moddalar mustahkamlovchi va mustahkamlovchi komponentlar bo'lib xizmat qiladi, operatsion yuk ta'sirida yukning bir xil taqsimlanishiga yordam beradi, tolalar esa asosiy yukni oladi, kuchlanishni bir xil taqsimlaydi.



1-rasm. Har xil korroziya turlarida metallning mexanik ko'rsatkichlarini o'zgarish xossalari:

1-umumiy korroziya; 2-mahalliy (uchoqli) korroziya; 3-kristallar oralig'i korroziya.

Mustahkamlovchi tolalarning ishlash chegarasi uning fazaviy interfeysdagi kritik uzunligini (l_k) aniqlaydi [7].

$$l_k = \frac{\sigma_B d}{2\tau_{AD}} \quad (1)$$

bu yerda d - diametri; σ_B - mustahkamlik

chegarasi; t_{AD} - kesish kuchi.

To'qimalarning yo'nalishi va tartibi geterokompozitning zichligiga ta'sir qiladi va namlash burchagi uning bir xilligiga g'ovaklikning yo'qligi ustunligi bilan ta'sir qiladi, bu kompozitsiyaning reologiyasiga bog'liq bo'ladi. Qovushqoqlikning oshishi bilan namlanishning pasayishi kuzatiladi, bu tuzilmani shakllantirish jarayonida havo pufakchalari yoki reaksiya gazlarini ushlab turishga olib keladi.

Termik zanjirlovchi plastmassalar asosidagi geterokompozit polimerning struktura hosil qilish jarayonini uch bosqichga bo'lish mumkin: to'ldiruvchilarning qattiq yuzasini polimerning suyuq

komponentlari bilan namlash, havo pufakchalarini ushlab turish jarayonining boshlanishi va o'zaro bog'langan strukturaning hosil bo'lishi.

Xulosalar. Qo'shilish yoki polikondensatsiya reaksiyasiga kirishib, funktsional faol guruhlar tufayli strukturaviy qotib qolish jarayonida bog'lovchining oligomermik qatronlari uch o'lchovli tarmoq strukturasini hosil qiladi. Bu bosqichda qatronda reologik o'zgarishlar ro'y beradi, ular polimer bog'lovchining yopishqoqligi, harorat va polimerlanish vaqtiga bog'liq bo'lib, "reokinetika" deb hisoblangan ushbu bosqichni o'rganish orqali materialning fizik-mexanik xususiyatlarini oldindan aytish mumkin [12] bo'ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Авдеенко А. П. Коррозия и защита металлов: краткий курс лекций / А. П. Авдеенко, А. Е. Поляков. -Краматорск: ДГМА, 2003. -104 с.
2. Ангал Р. Коррозия и защита от коррозии: учеб. пособие: пер. с англ. / Р. Ангал. - Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2014. - 344 с.
3. Жук Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов: учеб. пособие / Н. П. Жук. - Москва: Металлургия, 2006. - 472 с.
4. Неверов А. С. Коррозия и защита металлов: учеб. пособие / А. С. Неверов, Д. А. Радченко, М. И. Цирлин. - Минск: Высшая школа, 2007. - 215 с.
5. Ракоч А. Г. Коррозия и защита металлов: газовая коррозия металлов: курс лекций / А. Г. Ракоч, Ю. А. Пустов, А. А. Гладкова. - Москва: Издательский Дом МИСиС, 2013. - 56 с.
6. Семенова И. В. Коррозия и защита от коррозии / И. В. Семенова. - Москва: Физматлит, 2002. - 232 с.
7. Полимер-силикатные машиностроительные материалы: физико-химия, технология, применение / С.В. Авдейчик и [др.]; под ред. В.А. Струка, В.Я. Щербы. – Минск: Тэхналогія, 2007. – 431 с.
8. Нанокпозиционные машиностроительные материалы: опыт разработки и применения. / Под ред. В.А. Струка. – Гродно: ГрГУ им. Я. Купалы, 2006. 403 с.
9. Липатов Ю.С. Физическая химия наполненных полимеров. – М.: Химия, 1977. –304 с.
10. Основы обеспечения эксплуатационной надёжности гетерокмозитных полимерных материалов для деталей машин /Под общей ред. д.т.н., проф А.Б.Джумабава // Muxr press. – Ташкент, 2018. - 404с.
11. Негматов Н.С. Технология получения тонкоизмельчённых высококачественных минеральных ингредиентов и композиционные материалы на их основе.// ГУП «Фан ва тараккиёт». -Ташкент, 2009. -160 с.
12. Симонов Д.И., Армированные пластики и их классификация по структурному принципу и перерабатываемости Пластические массы №5-, Москва 2016 С 3-8.

УДК: 622.32

 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.2

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОЛОГО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ В ОБЛАСТИ РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ВОСТОЧНО-УСТЮРТСКОМ РЕГИОНЕ



Хайитов Одилжон Гафурович

д. г.-м. н. (DSc), проф., Профессор кафедры «Горное дело»
ТГТУ им. И.А.Каримова, Ташкент, Узбекистан
E-mail: o_hayitov@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-7735-5980



Орынбаев Бахтжон Аметович

к.т.н., начальник отдела разработки нефтяных и газовых
месторождений Устьюртского газодобывающего управления,
АО «Ўзбекнефтегаз», Кунград, Узбекистан
E-mail: baxtjan@mail.ru
ORCID ID: 0009-0000-1990-8009

Аннотация. В статье рассматривается информация об открытиях и разрабатываемых месторождениях в регионе Восточного Устьюрта, где накоплены ценные геологические, геофизические и промысловые материалы в период 1960-2025гг.. Статья также посвящена повышению эффективности разведки и разработки сложных месторождений на основе геологических, геофизических и геолого-промысловых данных, уточнения строения залежей с учетом бурения новых оценочно-эксплуатационных и эксплуатационных скважин, и проведения геолого-технологических мероприятий. При реализации геолого-технических мероприятий (ГТМ) внедрены современные передовые технологии, направленные на повышение выработки остаточных запасов газа из сложнопостроенных месторождений. В целях оценки эффективности научно обосновано применение геотехнологий метода контроля при осуществлении ГТМ.

Ключевые слова: месторождение, динамика, Восточный Устьюрт, запас, скважина, ГРП, ГТМ, КИГ, плотность бурения, успешности ресурсов.

SHARQIY USTYURT O'LKASI GAZKONDENSAT KONLARINI IZLASH VA O'ZLASHTIRISH SOHASIDA O'TKAZILGAN GEOLOGIK VA TEKNOLOGIK TADBIRLAR SAMARADORLIGINI TAHLIL QILISH VA BAHOLASH

Hayitov Odiljon G'ofurovich

g.-m.f.d DSc, Islom karimov nomidagi TDTU Konchilik ishi
kafedrası professorı, Toshkent, O'zbekiston

Orinboyev Baxtjon Ametovich

t.f.n., "O'zbekneftegaz" AJ, Ustyurtgazqazibchiqarish boshqarmasi
neft va gaz konlarini ishlatish bo'limi boshlig'i,
Qo'ng'iro't, O'zbekiston

Annotatsiya. Maqolada 1960-2025-yillarda Sharqiy Ustyurt o'lkasidagi sanoatga ahamiyatli geologik, geofizik va ishlab chiqarish materiallari asosida izlab topilgan va o'zlashtirilgan konlar to'g'risidagi ma'lumotlar tahlil qilingan. Maqolada, shuningdek, geologik, geofizik va sanoat-geologik ma'lumotlari asosida murakkab konlarni qidirish va o'zlashtirish samaradorligini oshirish, yangi baholash va ishla-

tish quduqlarini burg'ulashni hisobga olgan holda konlar tarkibini aniqlashtirish, geologik va texnologik tadbirlarni amalga oshirishga bag'ishlangan. Geologik-texnik tadbirlarni (GTT) amalga oshirishda murakkab tuzilgan konlardan qoldiq gaz zaxiralarini o'zlashtirishni ko'paytirishga qaratilgan zamonaviy ilg'or texnologiyalar joriy etildi. Geologik-texnik tadbirlarni samaradorligini baholash uchun ilmiy asoslangan geotexnologiyalarning nazorat usulidan foydalanilgan.

Kalit so'zlar: kon, dinamika, Sharqiy Ustyurt, zaxira, quduq, geologik qidiruv, geologik-texnik tadbirlar, quduqni burg'ulash, burg'ulash zichligi.

ANALYSIS AND EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF GEOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL MEASURES IN THE FIELD OF EXPLORATION AND DEVELOPMENT OF GAS CONDENSATE FIELDS IN THE EAST USTYURT REGION

Hayitov Odiljon Gafurovich

Doctor of Geological and Mineral Sciences, Professor, Professor
of the Department of Mining, TSTU named after I.A.Karimov,
Tashkent, Uzbekistan

Orynbayev Bakhtzhon Ametovich

PhD, Head of Oil and Gas Field Development Department,
Ustyurt Gas Production Department, Uzbekneftegaz JSC,
Kungrad, Uzbekistan

Abstract. The article considers information on discoveries and fields under development in the Eastern Ustyurt region, where valuable geological, geophysical and field materials have been accumulated in the period 1960-2025. The article is also devoted to improving the efficiency of exploration and development of complex fields based on geological, geophysical and geological-field data, clarifying the structure of deposits taking into account the drilling of new appraisal and production wells, and carrying out geological and technological measures. When implementing geological and technical measures (GTM), modern advanced technologies have been introduced aimed at increasing the production of residual gas reserves from complex fields. In order to assess the effectiveness, the use of geotechnologies of the control method in the implementation of GTM is scientifically substantiated.

Keywords: field, dynamics, Eastern Ustyurt, reserve, well, geological exploration, geological and technical measures, well drilling, drilling density, resource success.

Введение. Геологоразведочные работы на нефть и газ в пределах Восточно Устьюртского нефтегазоносного региона были начаты в 1960г., и в результате чем более шестидесятилетних поисков и разведки на исследуемом регионе открыто 30 газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатной месторождений, в том числе в промышленной разработке находятся 19 месторождений (Шахпахты, Урга, Шаркий Бердак, Сургил, Бердак-Шимолий Бердак, Дали, Арслан, Инам, Бескала, Куйи Сургил, Куйи Шаркий Бердак, Гарбий Куйи Сургил, Акчалак, Кокчалак, Карачалак, Тиллали, Гарбий Борсакелмас, Шагырлык и Западный Арал), из них самыми крупными по запасам являются 6 газовых и газоконденсатных месторождений (ГКМ) Шаркий Бердак, Бердак - Шимолий Бердак, Сургил, Шахпахты, Урга и Арслон, остальные средние и мелкие [1; с. 42-43, 2; с. 66-

73]. На рисунке 1 показана динамика накопленной добычи и прироста запасов газа по категориям С₁, С₂, С₃. На рисунке 2 изображен реальный график того, что с начала разработки из недр извлечено 128,4 млрд. м³ природного газа, или 19,4 % начальных запасов открытых месторождений. Здесь 37 % из числа открытых месторождений не разрабатываются.

Методология. Опираясь на исследовательскую работу Г.С. Абдуллаева и др. [3; с. 22] в регионе Восточный Устьюрт, необходимо подчеркнуть тот факт, что разведка нефтяных и газовых месторождений свидетельствует о высоком геологическом потенциале и возможности ускорения геологоразведочных работ в ближайшем будущем.

Актуальные проблемы разведки и разработки месторождения Восточно-Устьюртского региона являются:

- значительным отставанием темпов добычи газа и газового конденсата от прироста запасов, связанные с большим количеством остаточных и разведанных геологических запасов в недрах;

- геологическим потенциалом новых месторождений значительно ниже запасов на уже промышленно разрабатываемых месторождениях;

- возрастание доли трудноизвлекаемых запасов на вновь разведанных и разведываемых месторождениях.

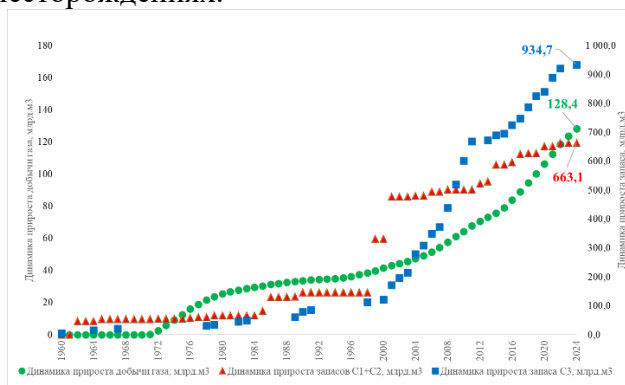


Рис.1. Динамика прироста добычи газа, запасов C1+C2 и запаса C3 по Восточно-Устыртскому региону.

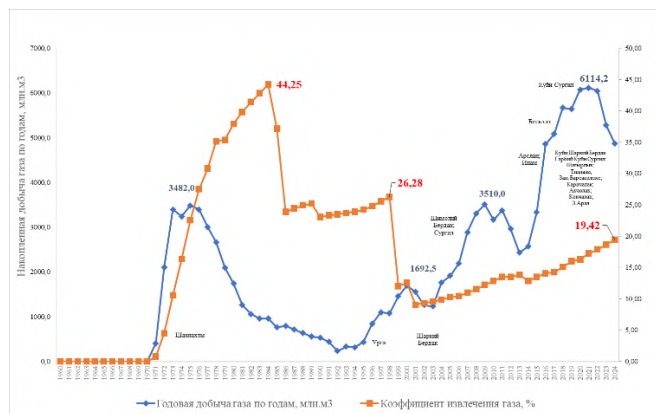


Рис.2. Динамика изменения годовой добычи газа и коэффициента извлечения газа (КИГ) по Восточно-Устыртскому региону.

К основным условиям, предъявляемым для достижения высокой эффективности геологоразведочных работ (далее ГРР) на нефть и газ, относятся [4; с. 518, 5; с/ 64-66]:

1) удовлетворение потребностей добывающих компаний в запасах нефти, газа и газового конденсата;

2) обеспечение необходимой пропорциональности между извлекаемыми и подготовленными запасами;

3) рациональное размещение глубокозалегающих, дорогостоящих и геологически рискованных поисково-разведочных структур-месторождений;

4) внедрение новых технологии, применяемых при подготовке запасов, не допуская резкого увеличения их себестоимости;

5) повышение эффективности подготовки запасов с количественной и качественной точек зрения, их широкое использование в качестве экономического механизма развития страны при использовании их в условиях отечественной и зарубежной рыночной экономики.

Сложность и высокая стоимость разведки газовых месторождений привели к необходимости все работы, связанные с извлечением газа, его промысловой подготовкой и транспортом к потребителю, вести в два основных этапа. Промышленная разведка и разработка месторождений представляет собой единый процесс, от успешного и правильного осуществления которого зависят сокращение числа разведочных скважин и ускоренный ввод в разработку [6; с.14].

Исходя из этих условий можно сформулировать общий критерий эффективности геологоразведочных работ как:

1. Коэффициент извлечения газа (далее КИГ) – это отношение величины суммарной добычи газа на группе месторождений с начала опытно-промышленной эксплуатации к величине начальных суммарных геологических запасов газа по категориям C₁ и C₂, выраженное в долях единицы.

$$K_{киг} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{нак. доб.}}{\sum_{i=1}^n V_{ABC_1+C_2}} \times 100 [\%]$$

где, n - количество открытых месторождений; Q_{нак.доб.} - накопленная добыча газа по региону, V_{ABC₁+C₂} – объем запасов ABC₁+C₂ в куб. метрах.

2. Плотность буровой изученности региона – это отношение объема проходки бурения к площади исследуемого геологического объекта, которое записывается в виде:

$$P_{\text{пл.бур}} = \frac{V_{\text{объем.бур}}}{S_{\text{площадь}}} \left[\frac{\text{м}}{\text{м}^2} \right]$$

где, $V_{\text{объем.бур}}$ – объем бурения в метрах, $S_{\text{площадь}}$ – площадь изучаемой территории.

3. Коэффициент подтверждаемости перспективных ресурсов – это отношение запасов ABC_1+C_2 к ресурсам C_3 , которое записывается в виде

$$K_{\text{подтверж.}} = \frac{V_{ABC_1+C_2}}{V_{C_3}} \left[\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3} \right]$$

где, $V_{ABC_1+C_2}$ – объем запасов ABC_1+C_2 в куб. метрах, V_{C_3} – объем запасов C_3 в куб. метрах.

4. Коэффициент успешности разведки (поисков) – это отношение числа открытых месторождений к числу пробуренных структур, которое записывается в виде:

$$K_{\text{успешности}} = \frac{N_{\text{месторож.}}}{N_{\text{структур}} + N_{\text{месторож.}}}$$

где, $N_{\text{месторож.}}$ – количество фактически открытых месторождений, $N_{\text{структур}}$ – количество фактически пробуренных структур.

5. Удельные показатели эффективности глубокого бурения – это прирост запасов по категориям ABC_1 на 1 метр проходки бурения, которое записывается в виде [7; с. 31]:

$$y_{\text{бур.}} = \frac{V_{ABC_1+C_2}}{V_{\text{объем.бур}}} \left[\frac{\text{м}^3}{\text{м}} \right]$$

где, $V_{ABC_1+C_2}$ – объем запасов ABC_1+C_2 в куб. метрах, $V_{\text{объем.бур}}$ – объем бурения в метрах.

6. Эффективность мероприятий – это дополнительная добыча газа, накопленная с течением времени в результате комплексных геолого-технологических мероприятий, которое записывается в виде:

$$Q_{\text{ГТМ}}(t) = \sum_{i=1}^n Q_i(t)$$

где, $Q_i(t)$ – накопленная добыча газа по результатам i -го мероприятия, млн. м^3 .

n – количество фактически выполненных мероприятий.

$Q_{\text{ГТМ}}(t)$ – суммарная добыча газа по результатам комплексных мероприятий, млн. м^3 .

7. Материальный баланс продуктивной залежи – непрерывный мониторинг за падением пластового давления при промышленном отборе

флюида из залежи вновь введенных из ГРП в пробную или опытно-промышленную эксплуатацию (далее ОПЭ) залежи [8; с.65]:

$$V_{\text{др}}(t) = \frac{Q_{\text{отб}}(t)}{\frac{P_H}{Z_H} - \frac{P(t)}{Z[P(t)]}} * \frac{P_H}{Z_H}$$

где, $V_{\text{др}}(t)$ – дренируемые запасы, млн. м^3 .

$Q_{\text{отб}}(t)$ – суммарный отбор газа сначала разработки месторождения на дату замера статических пластовых давлений в скважинах, млн. м^3 .

$P_H, P(t)$ – начальное и текущее пластовое давление, МПа,

$Z_H, Z[P(t)]$ – коэффициенты сверхсжимаемости газа, соответствующее начальному и текущему пластовым давлениям и пластовой температуре.

На рисунке 2 показана история газодобывающей промышленности Восточно-Устюртского региона (Узбекская часть) условно можно разделить на следующие этапы.

Первый этап – с 1971 по 1995-е годы

В этот период добыча газа в регионе связана, в основном, с зарождением газовой промышленности по Шахпахтинскому ступенью, хотя бурение на нефть велись и в других регионах Узбекистана. В 1975 году максимальная годовая добыча в регионе составляла в объеме 3,482 млрд. м^3 в год. Текущий КИГ достигнуто до максимального значения 44%. В этот период все объемы добытого газа осуществлялись за счет газоконденсатного месторождения Шахпахта.

Второй этап – с 1995 по 2002-е годы

Годовой показатель добычи газа составил максимальный объем в размере 1,693 млрд. м^3 за короткий период времени. В этот период на промышленном уровне разрабатывались только месторождений Урга и Шахпахта. В то же время КИГ в регионе в целом снизился с 27% до 10%. Основной причиной этого является открытие нетрадиционных месторождений с ростом трудноизвлекаемых запасов углеводородов, а также их расположение вдали от систем инфраструктуры, которые в настоящее время находятся в промышленной эксплуатации.

Третий этап – с 2002 по 2015-е годы

Важной особенностью этого периода этого

периода является экстенсивное, интенсивное и форсированное развитие газовой промышленности, связанное с промышленным открытием из геологоразведочных работ большого числа новых газоконденсатных месторождений, в результате чего запасы по категориям C_1 и C_2 увеличиваются в 5 раз. В 1998 году в соответствии с Протоколом поручений Президента Республики Узбекистан И.А. Каримова от 11.02.98г. разработана «Программа изучения перспективности плато Устюрт и акватории Аральского моря» под руководством А.А. Абидова, Х.Б. Жумаева, направленная на усиление геологоразведочных работ в Устюртском нефтегазоносном регионе. В целях выполнения данной Программы в 2001 году под руководством А.А. Абидова, Т.Л. Бабаджанова было разработано мероприятие «Программа по развороту геофизических работ с целью обеспечения глубокого бурения фондом структур на период 2001-2003гг. Во второй период основной объем бурения приходится на Судочий прогиб, и на Бердах-Тахтакаирский и Куаныш-Коскалинский валы. Здесь необходимо вкратце отметить, что за счет глубокого бурения в кратчайшие сроки, начиная с 1998 по 2006 год в прогибе Судочье, Бердах-Тахтакаирском вале открыты газоконденсатные месторождения Шарқий Бердак, Шимолий Бердак, Сургил, Шеге, Дали и Шагирлиқ с суммарными первоначальными запасами свыше 300 млрд.м³ природного газа. В 2009 году максимальная годовая добыча в регионе составляла в объеме 3,510 млрд.м³ в год.

Четвертый этап – с 2015 года по настоящее время

Данный этап истории развития отечественной газовой промышленности является плановым. В этот период совершенствуется бурение газовых и газоконденсатных скважин и на месторождении Арслан также велось строительство установки комплексной подготовки газа, где подготавливаются газы с газоконденсатных месторождений Куйи Сургил, Куйи Шарқий Бердак, Ғарбий Куйи Сургил для дальнейшего транспортировки. Здесь необходимо подчеркнуть, что в соответствии с постановлением Президента Республики Узбекистан Ш.М. Мирзиёева, от 09.03.2017г., в рамках

«Программы по увеличению добычи углеводородного сырья на 2017-2021 годы», одним из самых престижных достижений в области разведки и разработки месторождений стало открытие и ускорение добычи углеводородов на промышленном уровне по месторождениям Куйи Сургил, Куйи Шарқий Бердак, Ғарбий Куйи Сургил с суммарными первоначальными запасами свыше 40 млрд. м³ природного газа. Эти газоконденсатные месторождения введены в ОПЭ соответственно в 2018, 2021 и 2021 годах, из которых общее количество пробуренных скважин в настоящее время составляет 40, 28 и 12. Срок ОПЭ обосновывается индивидуальным проектом, но не более пяти лет [9; с. 18]. На рисунке 2 представлена динамика годовой добычи газа. Совершенно очевидно, что плановое развитие газового комплекса и государственное урегулирование этого развития составляют основу столь динамичного роста добычи газа на этом этапе. В 2021 году максимальная годовая добыча в регионе составляла в объеме 6,1 млрд.м³ в год. С другой стороны, на этот процесс оказало положительное влияние и создание на данном этапе мощной научной базы «Центр моделирования нефтегазовых месторождений» и «Центр управления бурением» в АО «Узбекнефтегаз». Широко применяются современные технологии, материалы и оборудование на всех стадиях поисков, разведки и разработки месторождений. Современная вычислительная техника расширила возможности поиска рациональных решений сложнейших задач нефтегазового комплекса.

Основываясь на исследовательскую работу М.Н. Кравченко [10; с. 6], можно выделить следующие группы по степени изученности структурно-тектонических элементов 1-го или 2-го порядка:

1. Сверхвысокая степень разбуренности – свыше 100 м/км²;
2. Высокая степень разбуренности – от 50 до 100 м/км²;
3. Средняя степень разбуренности – от 10 до 50 м/км²;
4. Низкая степень разбуренности – от 1 до 10 м/км²;
5. Весьма низкая разбуренности – ниже 1 м/км².

По разрезу буровая изученность Восточно-Устюртского региона в пределах 1-го тектонического элемента также неравномерна (см. рис.3). Средняя плотность бурения весьма разнообразна – от 0,56 до 22,1 м/км², и ее распределение по времени имеет функциональную зависимость от объема пробуренных скважин. Как ранее изучала Милосердова, существует определенная закономерность во взаимосвязи между успешности разведки и плотностью бурения [11; с.149]. Несмотря на большую площади наиболее достаточно изучены бурением тектонические элементы I-го порядка Северо-Устюртской и Южно-Мангышлакской впадины, где плотность бурения составили 22,1 и 19,1 м/км² соответственно. Еще одна очень низкая плотность бурения наблюдалась в Восточно-Аральском впадине, где ее значение составляло 0,56 м/км². Научно-исследовательская работа М.Г. Юлдашева [12; с. 18] показывает различные месторождения в тектонических элементах второго порядка Восточного Устюрта, с наибольшей плотностью бурения на Куаныш-Коскалинской вале (см. рис.4). Но, при этом важно подчеркнуть, что несмотря на среднее значение плотности бурения по Бердах-Тахтакаирскому валу и Шахпахтинской ступени, коэффициенты успешности открытия месторождений составили 0,402 и 0.250 каждые. Однако, по Куаныш-Коскалинскому валу данный коэффициент равен 0,140 (см. рис.5). Таким образом, в результате более чем шестидесятилетних поисков и разведки нефти и газа на Восточно-Устюртской территории, большая часть залежи и запасов углеводорода открыты в юрских отложениях. Эффективность геологоразведочных работ на нефть и газ зависит от текущей изученности региона, и в разные годы существенно различалась. По мере разведанности, в начальном этапе ГРП растет, затем по мере приближения к завершающему этапу уменьшается [13; с.84].

Средние удельные показатели эффективности глубокого бурения, и распределение его крайне неравномерное характеризующие объем приростов запасов УВ категорий C₁+C₂ на скважину и на метр бурения, имеют следующие значения. На метр проходки скважин приращено от 1,2 до 30,5 млн. м³ запасов указанных

категорий (см. рис.6).

В регионе Восточный Устюрт коэффициент подтверждения ресурсов углеводородов категории C₃ в целом также неравномерно распределен во времени (см. рис.7). Данный регион можно разделить на три периоды в соответствии с коэффициентом подтверждения ресурсов: 1) 1961-1990гг.; 2) 1991-1998гг.; 3) 1999-2025гг. В первом периоде наблюдается резкое увеличение коэффициента подтверждения запасов, то есть по отношению к ресурсу запас увеличился в 7,9 раза. Также этот период является открытия месторождений Шахпахты, Куаныш, Гарбий Барсакелмас, Акчоллак и Урга. Второй период освоения Восточно-Устюртского региона (1991-1998) характеризуется открытием и промышленной разработки двух месторождений Кокчалак (№№3,21) и Карачалак (№№5,21) с залежами газоконденсата в палеозойских отложениях. Отличие второго периода от первого периода в том, что на протяжении почти 8 лет не наблюдалось увеличения коэффициента подтверждения. Без преувеличения, третий период можно считать важным и наиболее значимым периодом в истории изучения региона Восточный Устюрт [14; с. 14, 15; с.5-10]. Следует также отметить, что в третий период количество буровых установок для бурения терригенных залежей нижней юры удвоилось в целях прироста запасов, а также их вовлечения в разработку. Основная причина этого связана с открытием очень сложных типов геологических структур в Бердак-Тахтакаирском вале и Судочем палеопротрибе.

На рисунке 8 построен график зависимости приведенного пластового давления от отбора газа. Оцененные дренируемые запасы газа месторождения Куйи Сургил, Гарбий Куйи Сургил и Куйи Шаркий Бердак оцениваются в объемах 19,490 млрд. м³, 5,330 млрд. м³ и 14,983 млрд. м³, что КИГ соответственно составили 90%, 60% и 40%. В целом, месторождения Куйи Сургил и Гарбий Куйи Сургил имеют высокую значению КИГ в период ОПЭ. Однако, по месторождению Куйи Шаркий Бердак не смотря на высокие значения среднего пластового давления наблюдается резкое снижение пластового давления из-за внедрения пластовых вод в зону

фильтрации газа.

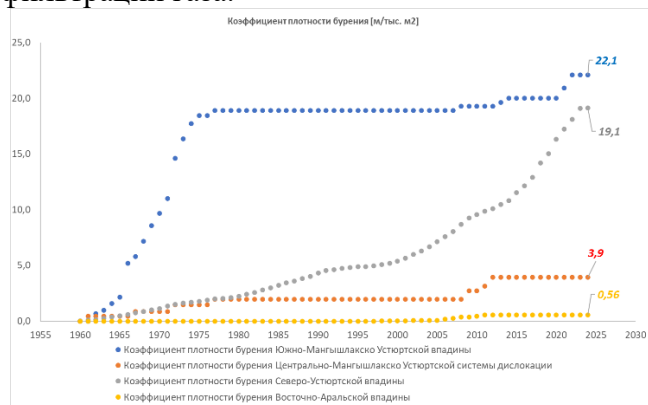


Рис.3. Динамика коэффициента плотности бурения по Восточно-Устьюртскому региону в пределах I-го тектонического элемента.

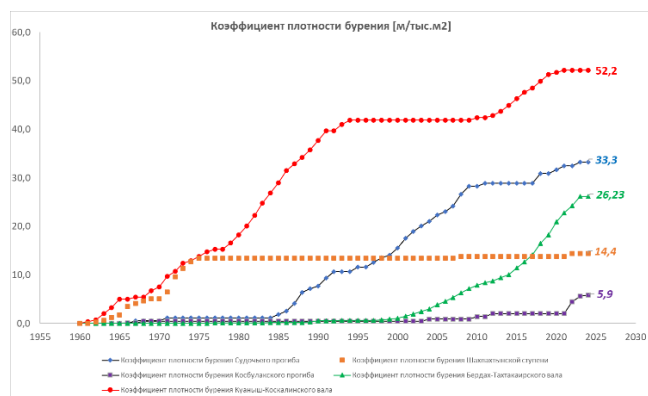


Рис.4. Динамика коэффициента плотности бурения по Восточно-Устьюртскому региону в пределах II-го тектонического элемента.

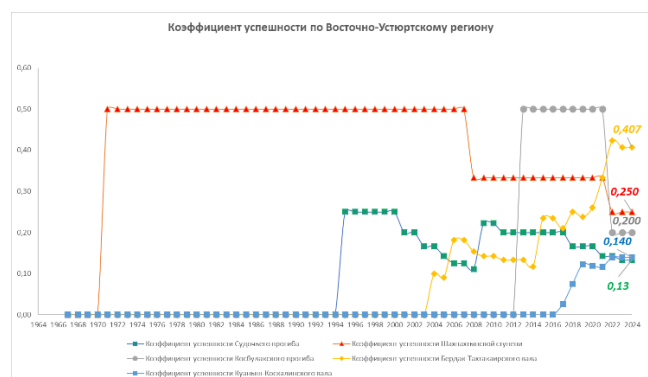


Рис.5. Динамика коэффициента успешности по Восточно-Устьюртскому региону в пределах II-го тектонического элемента.

На оценку дренируемых запасов влияет то, что сформированная залежь ГКМ Куий Шаркий Бердак является континентального типа. При этом, газонасыщенные пропластки за границей

залежи имеют остаточное водонасыщение и проявляются вместе с газом с начала разработки. Его объем пропорционален создаваемой депрессии на пласт, устраивает преграду движению газа в зону отбора газа. На начальной стадии из-за достаточно высокой энергии пласта вода выносится на поверхность. Со временем, увеличение ее объема обуславливает более резкое снижение пластового давления [16; с. 120].



Рис.6. Динамика удельного показателя эффективности глубокого бурения по Восточно-Устьюртскому региону.



Рис.7. Динамика коэффициента подтверждаемости ресурсов по Восточно-Устьюртскому региону.

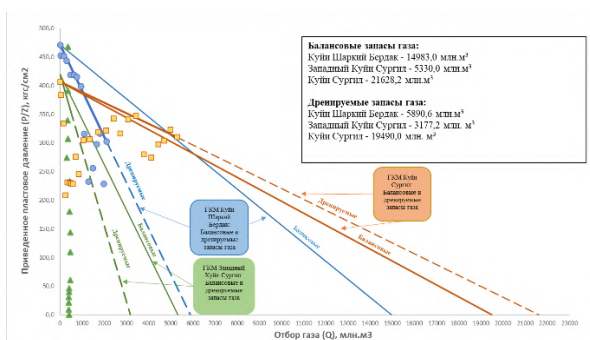


Рис.8. График зависимости приведенного пластового давления от отбора газа по ГКМ Куий Шаркий Бердак, Западный Куий Суржил и Куий Суржил.

Переход разработки многих крупных газоконденсатных месторождений в нашей стране на последнюю стадию активизирует роль геолого-технических мероприятий (далее ГТМ) на этапах промышленной разведки и разработки месторождений и извлечения из них полезных флюидов [6: с. 214, 7; с. 320, 8; с. 412].

ГТМ - это комплекс геологических, технологических, технических и экономических мероприятий, направленных на реализацию решений проекта по разработке месторождений с целью максимального увеличения КИГ и извлечения пластовых флюидов из залежей [9; с. 528].

Благодаря ГТМ нефтегазодобывающие компании обеспечивают:

- максимальные использования эксплуатационных фондов за весь период разработки месторождений;
- максимальная выработка остаточных извлекаемых запасов до проектного значения;
- поддержание плановых показателей по добыче жидких и газообразных углеводородов;
- опробования и испытания на продуктивность отдельных участков залежей, упущенных на этапе разведки месторождений;
- улучшение фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) призабойные скважинных зон (ПЗС) на добывающих и нагнетательных скважинах;
- выравнивание профиля приемистости нагнетательных скважин;
- улучшение работы глубинных скважинных оборудований и увеличение межремонтных период (МРП).

Для повышения эффективности выработки остаточных запасов из неоднородных сложно построенных коллекторов в последние годы (2017- 2024 гг.) предложено достаточно много геолого- технических мероприятий (ГТМ), включающих работы, которые проводятся на скважинах для регулирования процесса разработки месторождения, а также поддержания годовых плановых уровней добычи газа и газового конденсата. Благодаря ГТМ можно добиться выполнения проектных значений, установленных в проектных документах по разработке для каждого конкретного месторождения. Кроме того, в зависимости от других мероприятий, ГТМ отличаются тем, что по

результатам выполненных работ увеличивается объем добываемого газа и газового конденсата. Все работы, проводимые в скважинах, можно подразделить на капитальный и текущий ремонт. Геолого-технические мероприятия – это капитальный ремонт скважины (КРС), но иногда и текущие мероприятия могут быть отнесены к ГТМ. Геолого-технические мероприятия проводят на всех этапах разработки месторождений. Самые интенсивные из них осуществляются на более поздних этапах. Особенно актуально стоит вопрос по проведению ГТМ на старых месторождениях. Практика показывает, что каждые нефтегазодобывающие компании или предприятия сами определяют, какие работы относятся к ГТМ, а какие к другим ремонтам. На каждом месторождении индивидуально подбираются ГТМ. Они планируются каждый год, а в течение года могут корректироваться и меняться. В системе АО «Узбекнефтегаз» к ГТМ относят следующие работы: бурение эксплуатационных скважин, гидроразрыв пласта, обработка призабойной зоны кислотой, перевод на выше или ниже лежащий горизонт, одновременно раздельная эксплуатация, зарезка бокового ствола, углубление забоя скважин, перфорация под давлением в газовых средах, ремонтные изоляционные работы. Кроме того, к ГТМ могут быть отнесены и другие работы – реперфорация, возврат из консервации или бездействия и другие мероприятия. Все проводимые ГТМ обязательно оцениваются на эффективность путем проведения газодинамических и газоконденсатных исследований с глубинным замером до и после проведения.

Современные методы, направленные на повышение выработки уникальных остаточных запасов углеводородов и интенсификацию притока газа, опробованы на месторождениях в период 2017-2024 гг., из них на практике чаще всего в качестве ГТМ применялись: 1) уплотнение сетки проектных эксплуатационных и поисково-разведочных скважин; 2) бурение наклонно-направленных скважин (ННБ); 3) углубление оценочно-эксплуатационных скважин; 4) форсированный отбор флюидов с вводом в эксплуатацию компрессора низкого давления на ДКС Шаркий Бердак; 5) перфорация под давлением в газовых средах (ПВР

поддавлением); 6) изоляция обводненных зон под высоким давлением (РИР); 7) гидropескоструйная перфорация (ГПП); 8) гидравлический разрыв пласта (ГРП); 9) газодинамический разрыв пласта (ГДРП); 10) пороховой генератор давления ПГД-БК-150; 11) солянокислотная и глиноукислотная обработка скважин (СКО и ГКО); 12) термобарохимическая обработка (ТБХО); 13) зарезка бокового ствола (ЗБС); 14) радиальное вскрытие пласта (РВП); 15) обработка забоя с твердыми и жидкими поверхностно-активными веществами (ТПАВ и ЖПАВ); 16) дострел и перестрел продуктивных пластов.

Промышленные испытания вышеуказанных внедренных отечественных и зарубежных технологий, направленные на повышение пористости и проницаемости прискважинных зон, и вовлечение в промышленную разработку очень низкопроницаемых коллекторов, не всегда. На рисунке 9 приведены промысловые информации об эффективности практических методов проведения ГТМ с фактическими положительными результатами.

Результаты и обсуждение. При этом общий объем добычи природного газа Устьюртским газодобывающим управлением в 2017-2024 годах составил 25,421 млрд м³, из которых в результате проведенных мероприятий было добыто 12,183 млрд м³ газа, то есть 48 % от общего объема газа. Технология довольно обширная, поэтому, не усугубляясь, обратим внимание на ряд важных положительных результатов, достигнутых после внедрения конкретных ГТМ в период 2017-2024 гг.:

1. По результатам ГРП было введено в эксплуатацию 35 скважин, из которых общий объем добытого газа составил 801,2 млн. м³, или 6,6 % от общей части ГТМ;

2. По результатам эксплуатационного бурения было введено в эксплуатацию 178 скважин, из которых общий объем добытого газа составил 3 370,3 млн. м³, или 27,6 % от общей части ГТМ;

3. ПВР под давлением выполнена на 93 скважинах, в результате по всем скважинам достигнуты положительные эффекты и общий объем добытого газа составил 795,8 млн. м³, или 6,53 % от общей части ГТМ;

4. ГРП выполнен на 19 скважинах, из них на 13-ти получен промышленный приток газа, и общий объем добытого газа составил 414,6 млн. м³, или 3,4 % от общей части ГТМ;

5. Удаление жидкости с забоя скважин твердым ТПАВ и ЖПАВ в 2023-2024 гг. выполнено на 93 скважинах, что позволило эксплуатировать сильно обводненные скважины без продувки с длительностью в среднем 10-12 дней. Применение жидкого ПАВ привело к восстановлению ранее простаивающих обводненных скв. №66 месторождения Шимолый Бердак, скв. №100 месторождения Шаркий Бердак. Общий объем добытого газа составил 3,4 млн. м³, или 0,1 % от общей части ГТМ;

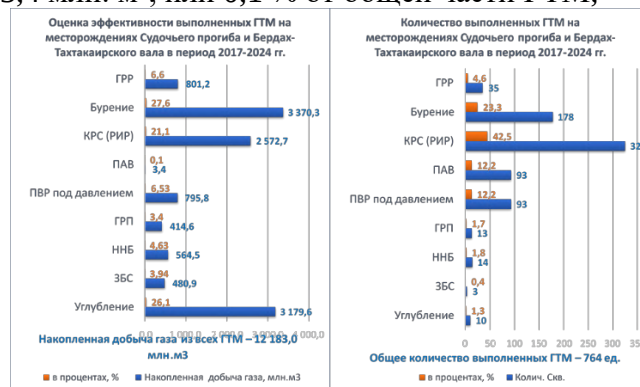


Рис.9. Промысловая информация об эффективности ГТМ по Устьюртскому ГДУ.

6. ННБ выполнено на 14-ти скважинах, в результате практически на всех скважинах получен промышленный приток газа, и общий объем добытого газа составил 564,5 млн. м³, или 4,63 % от общей части ГТМ;

7. В результате применения технологии ЗБС на 3-х скважинах удалось вскрыть продуктивные горизонты, насыщенные газом, за счет обхода аварийных труб на забое скважины. Общий объем добытого газа составил 480,9 млн. м³, или 3,94 % от общей части ГТМ;

8. Углубление забоя выполнено на 8-ми скважинах, из них на 7-ми получен промышленный приток газа. При этом объем добытого газа составил 3 179,6 млн. м³, или 26,1 % от общей части ГТМ;

9. КРС выполнен на 325 скважинах, в результате практически на всех скважинах получен промышленный приток газа и общий объем добытого газа составил 2 572,7 млн. м³,

или 21,1 % от общей части ГТМ.

Все проводимые ГТМ обязательно оцениваются на эффективность путем проведения газодинамических и газоконденсатных исследований с профилями притока пласта (ГК+2ННК, РЛТ) и глубинным замером до и после проведения [13; с.145]. В процессе длительной эксплуатации месторождения в цементном камне отдельных эксплуатационных скважин возникают трещины и полости, которые ликвидируют повторным цементированием под высоким давлением [14. с.386].

На рисунке 10 представлена внедренная геотехнологическая схема использования результатов ГДИ – ГКИ – ГИС – контроля за разработкой месторождений с глубинным замером для определения эффективности постоянно-действующих ГТМ на примере месторождений Устюртского газодобывающего управления, АО «Ўзбекнефтегаз». На первом этапе, до начала ГТМ на действующих скважинах проводятся ГДИ, ГКИ, ГИС для определения исходных данных: проницаемость пласта по газу, коэффициенты фильтрационного сопротивления, текущие газонасыщенности и водонасыщенности пласта, толщина газоотдающих и водоотдающих интервалов, высота столба жидкости на забое работающих скважин, эффективная пористость пласта, термобарические параметры пласта, и дебит скважин по газу, по конденсату и по воде. На втором этапе, после проведения ГТМ, также определяются выше-названные параметры. В случае некорректного определения параметров пласта до и после ГТМ комплексные исследования скважины будут повторно проведены. На третьем этапе, на основании исходных данных производится оценка технологической эффективности ГТМ до и после проведения. Далее при помощи действующей нормативно-технической документацией определяется экономическая эффективность: срок окупаемости и рентабельности, а после разрабатывается технико-экономическое обоснование проекта.

Заключение. В данной научной работе были проанализированы результаты поисковых работ 1960-2025 годов и изучена динамика прироста запасов и ресурсов, а также показатели

годовой добычи региона в целом. На основе накопленных материалов составлены графики динамики коэффициентов плотности бурения региона, успешности поисково-разведочных работ, подтверждаемости ресурсов и удельной эффективности глубокого бурения.

Анализировано эффективности различных видов ГТМ по добывающим скважинам для повышения эффективности разведки и разработки нетрадиционных залежей. Фактически, ГТМ является неотъемлемой частью разведки и промышленной добычи газа в нефтегазоносных регионах. Несмотря на то, что не все виды ГТМ дают ожидаемые положительные результаты, вероятности на успех можно увеличить следующим образом:

- системного подхода к изучению геотехнологий, внедряемый в конкретном нефтегазовом регионе, опирающийся на геологические, геофизические, геохимические, геомеханические и промысловые факторы;

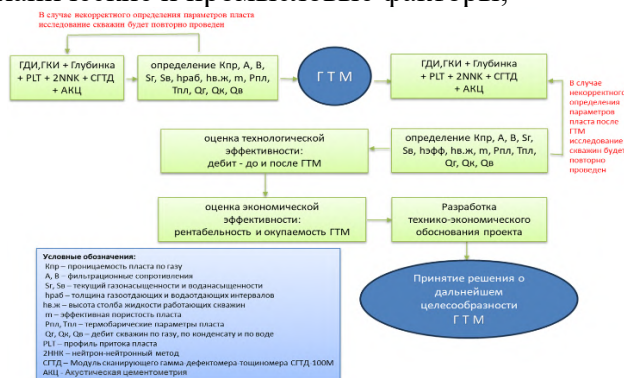


Рис.10. Внедренная геотехнологическая схема использования результатов ГДИ, ГКИ, ГИС-контроля за разработкой месторождений для определения эффективности ГТМ.

- системного подхода к снижению неопределенности исходных данных для планирования новых видов ГТМ;

- ранжирования территории исследований по степени разбуренности тектонического элемента, успешности ГРП, подтверждаемости ресурсов и вовлекаемости разведанных запасов в ОПЭ или промышленную разработку;

- привлечения или обучения опытных специалистов с высококвалифицированными рабочими и инженерно-техническими кадрами, а также передовыми технологиями в области

нетрадиционных геотехнологий.

На заключительном этапе ГРП на месторождениях Куйи Сургиль, Гарбий Куйи Сургил и Куйи Шарки Бердак использовано метод падения давления для:

- достоверная идентификация извлекаемых запасов газа на этапе ОПЭ при отборе газа не более 10% от первоначальных запасов;
- ускорения промышленной разведки газо-

конденсатных месторождений.

Применение на практике геотехнологическую схему использования результатов ГДИ – ГКИ – ГИС – контроля за разработкой месторождений с глубинным замером на примере месторождений Устюртского газодобывающего управления, позволил научно обоснованно определять объемы всех видов ГТМ и более достоверно планировать их результаты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрельченко В.В. Геофизические исследования скважин. –М.: –Недра, 2008. –551 с.
2. Орынбаев Б. А., Хайитов О. Г. Новый взгляд на перспективы нефтегазоносности глубокозалегающих домеловых отложений Восточно-Устюртского нефтегазоносного региона на примере Республики Узбекистан // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2025. –№ 1. –С.66–77.
3. Абдуллаев Г.С., Богданов А.Н., Эйдельмант Н.К. Современное состояние и перспективы развития геологоразведочных работ на нефть и газ в Устюртском регионе Республики Узбекистан. Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. –Т.14. –№1. – С.1 – 28.
4. Абидов А.А. Нефть ва газ геологияси русча-ўзбекча изоҳли луғат. –Тошкент, – Ўзбекистон миллий энциклопедияси, Давлат миллий нашриёти, 2000. –528 с.
5. Акрамов Б.Ш., Хайитов О.Г., Орынбоев Б.А. Особенности разведки и разработки газоконденсатных месторождений Восточно Устюртского нефтегазоносного региона // Нефтегазоносность и геоэкологические проблемы Каспийского региона. МНПК чтения Хошбахта Юсифзаде. 4-5 декабря 2024. г.Баку, Азербайджан. –С.64–66.
6. Вяхирев Р.И., Коротаев Ю.П. Теория и опыт разработки месторождений природных газов. – М.: –“Недра”, 1999. – 412 с.
7. Гафаров Н.А., Гулев В.Л., Карнаухов С.М., Соколов В.И., Гризик А.Я. и др. Новый взгляд на перспективы нефтегазоносности Восточного Устюрта. –М.: –ООО «Издательский дом Недра», –2010. – 61 с.
8. Орынбаев Б.А. Особенности разработки газонефтяных месторождений Узбекистана. // Материалы II Международного научного симпозиума «Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов», 15-16 сентября 2009г., –М.: –С. 63 – 70.
9. Правила разработки и газовых и газоконденсатных месторождений в Республике Узбекистан. Утверждено приказом Государственной инспекции Республики Узбекистан «Саноатконтехназорат» №34 от 14.02.2007г. –Ташкент – 2008. –250с.
10. Кравченко М.Н. Ресурсный потенциал углеводородов нижнесреднеюрских и доюрских глубокозалегающих горизонтов осадочного чехла Северных районов Западной – Сибирской нефтегазоносной провинции: Автореферат на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук. –М.: 2012. –24 с.
11. Милосердова Л.В. Геология, поиск и разведка нефти и газа. М.: – МАКС Пресс, 2007. – 320 с.
12. Абдуллаев Г.С., Богданов А.Н., Эйдельмант Н.К. Современное состояние и перспективы развития геологоразведочных работ на нефть и газ в Устюртском регионе Республики Узбекистан. Нефтегазовая геология. Теория и практика. –2019. –Т.14. –№1. –С.1 – 28.
13. Уметбаев В.Г. Геолого-технические мероприятия при эксплуатации скважин. –М.: –Недра. 1989. –214 с.
14. Стрельченко В.В. Геофизические исследования скважин. М.: –Недра, –2008. –551 с.

UO‘K: 551.763.12

 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.3

QASHQADARYO BOTIQLIGIDAGI QUYI BO‘R YOTQIZIQLARINING LITOLOGIK-FATSIAL ZONALLIGI



Jurayev Fazliddin Ochilxonovich

Dotsent, Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

E-mail: fazliddin_ng@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-7037-5946

Annotatsiya. O‘rganilayotgan hududda quyi bo‘r davri yotqiziqlari juda keng tarqalgan bo‘lib, ularning cho‘kindilari o‘ziga xos litologik-fatsial va paleontologik xususiyatlari tufayli butun mezozoy cho‘kindi kompleksi kesimida aniq va yorqin ajralib turadi. Quyi bo‘r jinslarining moddiy tarkibi va turli litologik qatlamlari fatsial-paleogeografik to‘planish sharoitlarini har tomonlama o‘rganish va jinslarning fatsial turlari o‘rtasidagi yaqin genetik bog‘liqlikni, shuningdek, turli foydali qazilmalarning joylashish tarzini geologik-paleogeografik qonuniyatlar orqali aniqlash geologiya-qidiruv ishlarini olib borishda muhim qidiruv mezonlari hisoblanadi.

Kalit so‘zlar: Toshqo‘rg‘on, Yakkasaroy, Langar, G‘ilon, Kulqamish, Maydanak, Shoxshor va Dukonxona, cho‘kindi, terrigen, xemogen, pog‘onali-terrassa, paleozoy, archasimon, alb va senoman, okuzbuloq, almurod, qarabil.

ЛИТОФАЦИАЛЬНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАШКАДАРЬИНСКОЙ ПРОГИБА

Джураев Фазлиддин Очилхонович

Доцент, Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Аннотация. Нижнемеловые отложения имеют весьма широкое распространение на изучаемой территории, а их осадки в силу своих специфических литолого-фациальных и палеонтологических особенностей отчетливо и ярко выделяются в разрезе всего мезозойского осадочного комплекса. Комплексное изучение вещественного состава нижнемеловых пород, фациально-палеогеографических условий накопления различных литологических слоев и установление тесной генетической связи между фациальными типами пород, а также закономерностей распределения различных полезных ископаемых по геолого-палеогеографическим закономерностям являются важными поисковыми критериями при проведении геологоразведочных работ.

Ключевые слова: Ташкурган, Яккасарай, Лангар, Гилан, Кулькамыш, Майданак, Шохшор и Дуконхона, осадочные, терригенные, гомогенные, ступенчато-террасса, палеозойские, архаичные, альбские и сеноманские, окузбулак, альмuroд, карабил.

LITHOLOGICAL-FACIES ZONALITY OF LOWER CRETACEOUS DEPOSITS OF THE KASHKADARYA TROUGH

Juraev Fazliddin Ochilkhanovich

Docent, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. Lower Cretaceous deposits are very widespread in the study area, and their sediments, due to their specific lithological-facial and paleontological features, are clearly and vividly distinguished in the section of the entire Mesozoic sedimentary complex. A comprehensive study of the material composition of Lower Cretaceous rocks, facies-paleogeographic conditions of accumulation of various lithological layers and the establishment of a close genetic relationship between facies types of rocks, as well as patterns of distribution of various minerals according to geological-paleogeographic patterns are important search criteria in geological exploration.

Keywords: Tashkurgan, Yakkasaray, Langan, Gilan, Kulkamysh, Maidanak, Shokhshor and Dukonkhona, sedimentary, terrigenous, hemogenic, stepped-terrace, paleozoic, archaic, alb and cenomanian, okuzbulak, almurod, karabil.

Kirish. Qashqadaryo egilmasi va unga tutash hududlar ilk bo‘r davri yotqiziqlari shakllanish davrida, ya‘ni kuchsiz sho‘rlangan laguna sharoitida qizg‘ich tusli gilli-karbonat-gipsli cho‘kindilarning to‘planish davrida tekis relefdan iborat bo‘lgan. Titon asri oxiri va valanj asri boshlarida (quyi karabil davri) usish bilan bog‘liq mintaqaviy tektonik harakatlarning yanada uzoqroq namoyon bo‘lishi hamda keskin kontinental iqlim sharoiti joylarda uta sho‘r laguna gidrokimyoviy cho‘kindilarning terrigen-xemogen tarkibli sho‘rroq va chuchuk suvli lagunalar bilan almashinishiga olib keldi.

Muhokama. Qorabil davrining ikkinchi yarmidayoq (valanji asri) laguna-dengiz suvlarining janubi-g‘arbga to‘liq va uzil-kesil regressiyasi natijasida nafaqat Qashqadaryo egilmasi, balki ilgari tuzli laguna suvlari bilan band bo‘lgan Janubi-G‘arbiy Hisor tizmalarining (JG‘HT) butun hududi suvdan to‘liq ochilib qolgan. O‘sha paytda bu hudud janubiy va janubi-g‘arbiy tomonga biroz qiya bo‘lgan qirg‘oqbo‘yi tekisligiga aylangan bo‘lib, bu yerda bir-biriga parallel bo‘lgan quruqlik daryolarining keng tarmog‘i va hamda ayrim kichik chuchuk suvli ko‘llari bo‘lgan o‘zanlararo qayir tekisliklari paydo bo‘lgan [1, 5].

Tadqiqot olib borilayotgan hududning quyi bo‘r davri yotqiziqlari litologik-fatsial va paleogeografik xususiyatlarini tavsiflashdan oldin, ilgari bu masalalar bilan N.P.Luppov, S.N.Simakov, V.I.Popov, S.D.Makarova, A.A.Filippov, A.G.Babaev, Ye.A.Kochnev, V.I.Troyskiy, M.E.Egamberdiev, T.X.Shoymurotov, N.Sh.Xayitov va boshqalarning ishlarida turli darajada va ma‘lum bir maqsadlarda ko‘rib chiqilganligini ta‘kidlash o‘rinli deb hisoblaymiz.

Shuningdek, Markaziy Hisor geologiya-qidiruv ekspeditsiyasi (GQE) va “O‘zgeoburneftgaz” AJ korxonalarining qattiq foydali qazilmalar va neft-gaz bo‘yicha izlov-qidiruv ishlari jarayonida tadqiqot hududining bir qator tuzilmalarida nisbatan yangi va boy geologik-geofizik materiallar olindi.

Geologlar va litologlar tomonidan keng qo‘llaniladigan litologik-fatsial tahlil usullarini hisobga olgan holda, xususan V.I.Popov tasnifi bo‘yicha fatsial tahlilning dinamik tamoyilini qo‘llash Qashqadaryo egilmasining quyi bo‘r jinslari kesimida yer usti ko‘tarilmalari, yer usti va suv osti tekisliklari va ularning kamarlari fatsiyalari komplekslarini ajratish imkonini berdi [2].

Quruqlikdagi ko‘tarilma fatsiyalari majmuasi paleoxisorga tutashgan landshaft zonalarida rivojlangan bo‘lib, mezozoygacha bo‘lgan jinslardan tashkil topgan va asosan kechki yura yotqiziqlari bilan cheklangan.

Kechki yura davridagi eng katta transgressiyadan va hududning umumiy tekislanishidan so‘ng, cho‘kindi to‘planish zonalarining ko‘tarilgan qismlarini yuvib ketishiga va mavjud botiqliklarni yangi, ammo boshqacha genezisli qizil rangli loyli cho‘kindilar bilan to‘ldirishga olib kelgan ba‘zi tektonik jonlanish davri keldi. Janub va janubi-g‘arbga biroz egilgan tekislik reliefi yirik daryo vodiylarini (masalan, Paleoqashqadaryo) yuvib qazish uchun qulay bo‘lib, yon irmoqlarning katta tarmog‘i mavjud edi, ularning suv yig‘ish bazisi hududning shimoliy chegarasida rivojlangan paleoko‘tarilmalar edi.

Ilgari Qashqadaryo egilmasining shimoliy yarmi hududida bo‘r eroziyasi tekisliklari aniqlanmagan, ammo ularga yuqori yura karbonat

qatlamidagi juda kichik qiyaliklar bilan tavsiflangan tepaliklarini qo'shish mumkin. Bu yerda bo'rdan oldingi va bo'r davridagi sirt (yuza) relefi mavjud deb taxmin qilish mumkin. Bunday tekislanish yuzalari Yakkabog' tog'larida (Shurasan, Maydanak, Xontaxta maydonlari) ma'lum. Bu yuzalar odatda turli balandliklarda bo'lib, relefining pog'onali-terrasa tuzilishini aks ettiradi. Bu yerda cho'kindi material yotqiziq holatiga kelgan, bundan oldin u allyuvial oqimlarga qo'shilgan va sezilarli fizik-kimyoviy o'zgarishlarga uchragan bo'lishi mumkin.

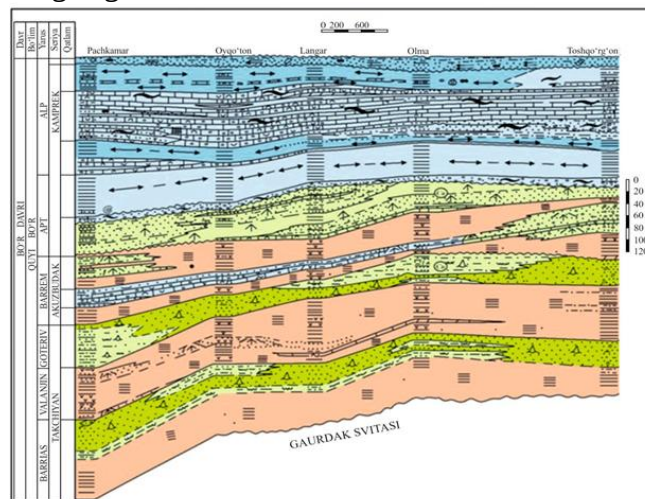
Yonbag'ir fatsial kamari cho'kindilari oldingi kamar relefining mahalliy pasayishlarida yotqizilgan va deyarli saqlanib qolmagan. Ular faqat mayda linzalar va paleozoy jinslari hamda yura ohaktoshlarining o'tkir burchakli brekchiasimon bo'laklari ko'rinishida aniqlangan. Ushbu holating mavjudligi yura va bo'r cho'kindi to'planishi o'rtasida tanaffus mavjudligidan dalolat beradi, bu ko'tarilmalarda sodir bo'lgan (1-rasm).

Quruqlik tekisliklari fatsiyalari majmuasi

Yakkabog' tog'larida keng rivojlangan bo'lib, ular karabil, almurod va qiziltosh svitalari kesmasidan tashkil topgan. Fatsiya cho'kindilarining tarqalishi botiqliklarning rivojlanish maydoniga to'g'ri keladi va ehtimol, ular tomonidan nazorat qilinadi, bu mintaqaning eroziya bazisi gradientlari darajasi bo'lib, qalin (o'nlab metr) dag'al (donador) bo'lakli cho'kindilar to'plamlarining shakllanishiga olib keldgan. Ular yaxshi saralanmagan konglomeratlar, shag'alli qumtoshlar, qumtoshlar va rang-barang, odatda qizil-qo'ng'ir rangli qumli alevrolitlardan iborat.

Yelpig'ichsimon-aralash zona. Ushbu zonaning dinamik fatsiyalarining tipik vakillari egilmaning shimoliy qismida, Toshqo'rg'on maydoni kesmalarida (karabil va qiziltosh svitasi hajmida) aniq ajralib turadi, bu yerda ularga saralanmagan har xil toshli konglomeratlar va xarsang toshli brekchiyalar qalinligi to'g'ri keladi (1-rasmga qarang). Qatlamning qalinligi bir necha metr dan dastlabki o'nlab metrgacha o'zgarib turadi. Ko'ndalang kesimi 2-3 sm dan 50 sm gacha bo'lgan dag'al bo'lakli material kvars, kremniy, turli xil metamorfik slaneslar, kamroq ohaktoshlar, dolo-mitlar va marmarlar, shuningdek, qizil-qo'ng'ir gillar, alevrolitlar va qumtoshlarning qotishmalaridan iborat. Bo'laklar ko'pincha o'tkir burchakli,

dumaloqlanmagan, kamdan-kam hollarda yarim dumaloqlangan, chetlari yumaloq ko'rinishdan iborat. Sement karbonat-gil-temirli jinslarning rangi qizil-qo'ng'ir. Yotqiziqlar qatlamsmo teksturaga ega, ba'zan daryo tipidagi linzasimon, kuchsiz ifodalangan gorizonttal, qiyshiq va diagonal yo'nalishga ega.



1-rasm. Pachkamar-Oyqo'ton-Langar-Olma-Toshqo'rg'on chizig'i bo'ylab bo'r davri yotqiziqlarining litologik-fatsial profili (Tuzuvchi: F.O.Juraev, 2024 y.).

Konglomeratlarda ko'pincha turli donali qumtoshlarning linzalari, qumtosh qatlamlarida esa dag'al bo'lakli jinslarning linzalari qayd etiladi. Bunday linzalarning uzunligi boshlang'ich linzalardan o'nlab metrgacha, qalinligi esa 0,1 dan 2,5 m gacha bo'ladi.

Yelpig'ichsimon-aralash zona janubiy va g'arbiy chekka qismlarida sezilarli darajada shag'al-qum-alevritli litofatsiyalar bilan ifodalanadi.

Yelpig'ichsimon-bo'lakli zona. Ushbu fatsial zona cho'kindilari Yakkasaroy, Langar, G'ilon (karabil, olmuurod va qiziltosh svitalari) maydonlari kesimlarida keng tarqalgan. Fatsiyalar bir nechta tog' daryolarining birlashgan konussimon yoyilmalarining shleyfidan iborat bo'lib, ular, ehtimol Paleogashqadaryo, Paleotanxozdaryo va Paleolangardaryo asosiy o'zanlarini tashkil etgan. Har xil shag'alli konglomeratlar, gravelitlar, har xil donali qumtoshlar va qumlashgan alevrolitlarning qatlamlanishi bilan xarakterlidir. Gravelitlar va qumtoshlar zonadagi tog' jinslarining asosiy turlari hisoblanadi. Donador materiallarni saralanishi juda yomon. Jinslarning rangi qizil-qo'ng'ir, qo'ng'ir-qizil, ba'zi

Qashqadaryo egilmasi va unga tutash JG'HT hududlarida tarqalgan pastki va o'rta aptning kaligrek va qo'lqamish svitalari, o'rta albaning luchak svitasi qumli-karbonatli jinslarida kuzatiladi.

Suv osti deltasi turg'un zonasi tarkibida ko'mirsimon detrit, qo'shimchalar, siderit konkret-siyalari, tub faunasi va qatlamlanishi bo'yicha muskovit tangachalari ko'rinishidagi qo'ng'ir-qizil dog'li yashil gillar bilan ifodalanadi. Cho'kindilar kam qalinlikdagi 0,5-1,5 m va linzasimon qatlamlar ko'rinishida Oqrabot, Pachkamar va boshqa maydonlarda kaligrek svitasi kesimida rivojlangan. G'arbiy yo'nalishda ularning qaliligi ortib boradi.

Laguna fatsial kamari cho'kindilari, asosan barremning laylimkon va machay svitalari hamda berrias-valanjinning olmurod va karabil svitalari kesimida tarqalgan bo'lib, ular turli kattalik va shakldagi yashil dog'lar bilan qizil-jigarrang, olchajigarrang, qizg'ish-qo'ng'ir rangli gipslashgan gillar bilan ifodalanadi. Ularning shakllanishi nisbatan harakatchan gidrodinamik muhitga ega bo'lgan kuchsiz sho'rlangan lagunada sodir bo'lgan.

Gil qatlamlari va pachkalari orasida ko'pincha qalinligi kichik (0,3-5,0 m) och kulrang, yashil-kulrang va ko'kimtir alevrolitlar, mayda donali glaukonitlar va qiya qatlamli qumtoshlar, sayoz suvli havzaga xos mavjlar (ryabi) kuzatiladi. Aftidan, bu jinslar janubi-g'arbdan dengiz suvlarining qisqa muddatli bostirib kelishi (transgressiya) davrida hosil bo'lgan. Tog' jinslarida muhrlangan torinosuella almuradisa, acrummaina, textularia almuradisa kabi dengiz foraminiferalarining mavjudligi ham shundan dalolat beradi [5].

Laguna cho'kindilari neokom kesmasi umumiy hajmining 70-80% ni tashkil qiladi, shimoliy kesmalarda (Shurason maydoni) 40-50% gacha qisqaradi, svitalarning umumiy qalinligi 60-100 m.

Natijalar. Qashqadaryo egilmasida *to'lqin urilma fatsial kamarining* cho'kindilari Yakkasaroy, Sho'roson, Toshqo'rg'on, G'ilon maydonlarining shimoliy kesimlaridagi kundalangtov (barrem), qo'lqamish (apt) va luchak (alb) svitalari, shuningdek charshang'i va oqqapchig'ay svitalari (alb) yotqiziqlari orasida rivojlangan.

Quyi bo'r davrining kundalangtov va luchak davrlarida dengiz sayozligi sharoitida (suv osti sayozliklarida) organogen (mshanka, korbula,

ustritsa), organogen-detrit va oolitli ohaktoshlar mergellar, ohakli gillar va kulrang polimikt tarkibli qumtoshlar (0,5-2,0 m) qatlamlari bilan shakllangan.

Ohaktoshlarning ayrim qatlamlari, xususan dengiz tipratikanlarining ignalari bo'lgan ustritsa, pelesipod, mshanka faunasining chig'anoqlaridan iborat. Ohaktosh qatlamlarining ustki yuzasida Pachkamar, Igrisu, Kulkamish, Tyubegatan maydonlari, Sherobod-Sariqamish antiklinal tizmasi hududlarida yirik to'lqinsimon ryab belgilari kuzatiladi, ularning qirralari orasidagi masofa 50-60 sm gacha yetadi.

Ohaktoshlarning oolitli strukturasi, mavjlanish belgilari (znaki ryabov), ularning o'lchamlari va tarqalish masshtablaridan qat'iy nazar, dengiz tubi relefining sayoz-suv urilmali xarakterini va uning suvlarining faol dinamik rejimini ko'rsatadi.

O'rganilayotgan hududning janubiy va o'rta hududlaridagi barrem oolitli ohaktoshlarda ham yirik to'lqinsimon belgilar kuzatilib, ular yaqqol profilga ega va to'lqinsimon qirralari aniq parallel joylashgan (Badaxshon, Yakkasaroy, Langar maydonlari).

Klanseyning boshida (kulqamish vaqti) apt dengizining butun akvatoriyasi sayozlashishni boshdan kechirdi, bu esa yuqorida ko'rsatilgan havza ichidagi sayozliklarning shakllanishiga olib keldi, ularning atrofida qalinligi 0,2 dan 20 m gacha bo'lgan ustritsalarning qalin devorli chig'anoqlarining bo'laklarini o'z ichiga olgan katta bo'lakli kvarts-kremniyli jinslar hosil bo'lgan [4].

To'lqin urilmali qumtoshlar qiyshiq qatlamli linzasimon kesishuvchi, ponasimon, turli yo'nalishli "archasimon" va parsimon morfologiyasi bilan tavsiflanadi. Qiya seriyalarning qalinligi desimetrlar va birinchi metrlar bilan o'lchanadi. Qiya qatlamlarning yotish burchaklari, odatda, 20-30° dan oshmaydi va ko'pincha janubi-g'arb va shimoli-sharqqa yo'nalgan bo'ladi. Dengiz akvatoriyasi tomon yo'nalishda to'lqin urilish turi dengiz tubidan oqish turi bilan almashgan.

Shimoliy kesmalarda (G'ilon, Shurason, Shoxshar, Toshqo'rg'on maydonlari) to'lqin urilishini mujassam etgan alb gillari rivojlangan bo'lib, ular kam qalinlikda bo'lib, asta-sekin terrigen qumalevrit materiallari bilan boyib boradi va to'liq

fatsial ravishda ular bilan almashinadi (1-rasmga qarang).

Mazkur kamarga xos cho'kindilar alb va senoman kesimlarida rivojlangan. Fatsial-paleo-geografik sharoit birmuncha o'zgarishlarga uchragan. Cho'kindi to'planish havzasi usuvchan tektonik harakatlarning tez-tez namoyon bo'lishi va dengiz havzasi suv sathining o'zgarishi natijasida suvlarning dinamik va tuz rejimining tebranuvchi o'zgarishlarini boshdan kechirgan. Bunda, asosan sherobod davrida (alb va senoman asrlari oralig'ida) dengiz tubining butun maydonida bir vaqtning o'zida autigen va qayta yotqizilgan glaukonit donalari bilan sezilarli darajada boyitilgan kvars-dala shpati tarkibli saralangan qum va alevrit cho'kindilarining to'planishi sodir bo'lgan [4].

Qumtoshlar va alevrolitlar hamma joyda o'ziga xos yashil-kulrang va kulrang-yashil rangli bo'lib, ularning intensivligi ulardagi umumiy glaukonit miqdorining ortishiga bog'liq. Qum-alevritli tarkib, undagi glaukonit cho'kindilarining yuqori miqdori, ularning qalinligi 5-50 m bo'lganda mintaqaviy miqyosda saqlanib qolgan. Cho'kindilarning o'ziga xos xususiyatlaridan yana biri tub-oqish tipidagi mayda bir yo'nalishli qiyshiq qatlamli tekstura hisoblanadi.

Glaukonitli cho'kindilar (jinslardagi glaukonit miqdori 40 % gacha yetadi) to'liq urish kamaridan uncha uzoq bo'lmagan masofada, Langar-Dukonxona-Qorail-Tyubagatan maydonlari oralig'idagi alb va alb-senoman dengizlarining tub oqimlari ta'siri sharoitida shakllangan.

Ular oqim bilan doimiy yuvilganligi sababli eng yaxshi kollektorlik xususiyatlari bilan ajralib turadi. Ularning g'ovakligi 21% gacha, o'tkazuvchanligi 150 millidarsigacha. Neft-gaz geologiyasi sohasida ular X mahsuldor gorizont nomi bilan ma'lum bo'lib, Buxoro-Xiva neftgazli regionining bir qator konlarida (Gazli, Setalontepa konlari va boshqalar) ushbu gorizontda gaz uyumlari topilgan. Bundan tashqari, sanoat va qishloq xo'jaligi uchun ularning ulkan agrokom ashyo zaxiralariga ega bo'lgan glaukonitga boyligi katta ahamiyatga ega.

Markaziy tindiruvchi fatsial kamariga charshang'i (yuqori apt), kallamazar (quyi alb) va oqqapchig'ay (yuqori alb) svitalarining gillari kiradi, ular o'rta va janubiy hududlarda tarqalgan bo'lib, ular mustaqil pachkalarni (10-30 m) va qalin qatlamlarni (80-130 m) tashkil qiladi. Ularda

doimiy ravishda kam qalinlikdagi (0,05 dan 0,8-1,0 m gacha) organogen va organogen-detritli glaukonitli ohaktoshlarning qatlamchalari va qatlamchalari mavjud.

Gillar va ohaktoshlar tarkibida makro- va mikrofauna qoldiqlari (ammonitlar, pelesipodlar, gastropodlar, braxiopodlar, foraminiferalar, ostrakodalar) va ko'mirga aylangan o'simlik detritlari ko'p miqdorda uchraydi. Shuningdek, qo'ng'ir temirtosh (o'lchami diametri 3-5 dan 70 sm gacha va qalinligi 0,5-15 sm) va karbonatlar (ko'ndalang kesimi 20 sm gacha) disk shaklidagi yumaloq zanjirsimon joylashgan konkretsiyalar gil qatlamlari yuzasida qayd etilgan.

Loylar ushlab ko'rilganda yog'li, qalin va yupqa qatlamli, zich, mayda zarrali (tonkodispersniy) bentonitga o'xshash. Granulometrik tarkibda ularning 0,001 mm li fraksiyasi 40-60% ni, 0,1-0,01 mm li fraksiyasi esa 0,5 dan 10% gachani tashkil etadi.

Gillarning mineralogik tarkibi montmorillonitli, gidroslyudali va aralash qatlamli. Immersion muhitda gillarning alevritli fraksiyasidagi ulushlari (foizda): kvars – 60 gacha, dala shpatlari – 30 gacha, slyudalar – 5 gacha, gematit-limonit – 30 gacha, pirit – 50 gacha, barit – 20 gacha, glaukonit – 5 gacha, shuningdek epidot, sirkon, granat, sfen, turmalin va rogovaya obmanka – birinchi foizlarda aniqlangan.

Xulosa. Shunday qilib, Qashqadaryo egilmasi quyi bo'r yotqiziqlarining litologik-fatsial zonalligi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar asosida quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

- o'rganilayotgan hududda maydon va stratigrafik jihatdan keng tarqalishi bilan tavsiflangan quyi bo'r yotqiziqlarida terrigen va xemogen-organogen guruhlarining deyarli barcha ma'lum cho'kindi jins turlari: dag'al va mayda bo'lakli (brekchiyalar, konglomeratlar, gravelitlar, turli donali qumtoshlar, alevrolitlar, pattumlar) jinslardan tortib, gilli va karbonatlarga uchrashi aniqlangan.

- ularning rangi turli tusdagi qizil, sariq, yashil, oq, kulrang, to'q kulrang, qo'ng'ir bo'lib, cho'kmalar hosil bo'lish davrida havzada o'zgaruvchan oksidlanish va tiklanish geokimyoviy va iqlim sharoitlari mavjudligini ko'rsatadi.

- yotqiziqlar bir zaylda quruqlik (tog'osti-yelpig'ichli, tekislik-vodiy, suv usti-delta) va suv-

osti (ko'l-laguna, dengiz) komplekslariga tegishli. Ulardan birinchisi berrias, valanjina, goteriv va qisman barrem, apt va alba kesimlarida ajralib turadi, ularning umumiy qalinligi shimolda birinchi yuz metrdan janubda bir kilometracha yetadi. Ikkinchi kompleks berrias-valanjinda (quyi qarabil, almurod svitalari), barremda (okuzbuloq svitasi), apt, alb va alb-senomanda rivojlangan.

- dengiz fatsiyalari orasida qum-gilli, karbo-natli jinslarda va kamdan-kam hollarda bazal konglomerat-gravelitlarda ifodalangan to'liq urilishi fatsiyasi jinslari eng ko'p rivojlangan. Suv osti deltasi fatsiyalari qum-alevritli va gilli yotqiziqlar, markaziy cho'kindi – gillar, chuqur tubdan oquvchi – glaukonitli qum-alevritli va organogen-detritli jinslar bilan ifodalanadi.

- u yoki bu turdagi cho'kindi foydali qazilmalarning dinamik fatsiyalar turlari bilan o'zaro

bog'liqlik aloqalari aniqlangan. Xususan, neo-komning kontinental fatsiyalari bilan Xontaxta, Kulqamish, Langar, Tyubegatan maydonlarida mis, sochma oltin, Toshqo'rg'on maydonida kumush va kobalt, Makrid, Qamashi va Dehqonobod maydonlarida qurilish materiallari, shuningdek Yakkasaroy maydonida neft va gaz (apt XII va goteriv XIII mahsuldor gorizontlari) uyumlari mavjudligi aniqlangan. Glaukonitlar (Pachkamar, Karail, Langar, Olma, Kulkamish maydonlari), keramzit va sement xom ashyolariga yaroqli bo'lgan bentonitsimon gillar (Kan, Pachkamar, Oqmechet maydonlari) hamda kvars-dala shpatli qumlar va alevrolitlar tub-oqimli va markaziy cho'kindi tinish fatsiyalar bilan bog'liqligi, shuningdek laguna va suv osti deltasi cho'kindilariga oid gipsga istibolli maydonlar (Kansay, Langar) aniqlandi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Бабаев А.Г. Литология, палеогеография и нефтегазоносность меловых отложений Западного Узбекистана. Ташкент: АН РУз, 1979. -С. 17.
2. Попов В.И., Макарова С.Д., Филиппов А.А. Руководство по определению осадочных фатсиальных комплексов и методика фатсиально-палеогеографического картирования. -М.: Недра, 1963.
3. Хайитов Н.Ш. Бешкент-Қашқадарё букилмалари майдонларидаги остки бўр ётқиқиқларида литологик-стратиграфик тутқиқларнинг шаклланишини лито-фациал жихатдан асослаш // Тошкент, Узбек нефт и газ журналі. 2001, №1. 4-6 б.
4. Шоймуротов Т.Х., Юлдашев Ж.Ю. Особенности формирования и размещения месторождений полезных ископаемых в осадочных породах мезокайнозоя Узбекистана // Матер. Межд. конф. «Условия формирования, закономерности размещения и прогнозирования месторождений полезных ископаемых» и Межд. симпозиума «Современные методы исследований перспективы использования включений минералообразующих сред в науке и практике АПИФИС-ИИИ. Ташкент, 2006. -С.94-96.
5. Эгамбердыев М.Э., Ишниязов Д.П., Шоймуротов Т.Х. Текстуриный анализ меловых отложений Южного Узбекистана и его рол в реконструкции каналов транспортировки терригенного материала // Узб. геол.ж., 1992, №1, с.41-52.

UO‘K: 66.061:665.7

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.18

TABIIY GAZLARNI MEA VA DEA ALKANOLAMINLI ERITMALAR YORDAMIDA NORDON KOMPONENTLARDAN TOZALASH JARAYONINING SELEKTIVLIGI



**Yuldashev Tashmurza
Raxmanovich**

Prof., t.f.d., Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O'zbekiston
E-mail:
tashmurzayuldashev1959@gmail.com



**Eshniyozov Akmal
Dilmurodovich**

“Uzbekistan GTL” MChJ
Texnologik jarayonni
loyihalashtirish bo'limi,
Yetakchi muhandis,
Qarshi, O'zbekiston
E-mail:
sardoruralov@gmail.com



**Yuldashev Nuriddin
Tashmurzayevich**

Qarshi xalqaro universiteti
assistenti, Qarshi, O'zbekiston
E-mail: nty4002@gmail.com



**Abdullayev Shaxzod
Abdiraxmon o'g'li**

“Uzbekistan GTL” MChJ Umumzavod
xo'jalik sexi Qurilma operatori, Qarshi,
O'zbekiston
E-mail:
shahzodbekabduraxmonovich@gmail.com

Annotatsiya. Ilmiy maqolada tabiiy gaz tarkibidagi nordon komponentlarni selektiv tozalashda optimal absorbent yoki ularning kombinatsiyalangan turlarini tanlash mezonlari va ketma-ketliklari, shuningdek absorbsiya asosidagi tozalash texnologiyasida uchraydigan muammolar yoritilgan. Mono- va dietanolamin eritmaları asosida vodorod sulfidi, uglerod dioksidi hamda merkaptanlarni yutishda qo'llash usullari va ularning samaradorligi o'rganilgan. Kolonna turidagi absorber uchun alkanolaminlarning optimal tarkibi ishlab chiqilib, tajribalar natijasida MEA va DEA eritmalariga efirlar qo'shish orqali yangi kombinatsiyalangan absorbentlar sintez qilingan. Tadqiqotlarda MEA va DEA ning turli nisbatlari qo'llanilib, tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalash samaradorligi aniqlandi.

Kalit so'zlar: tabiiy gaz, aminli eritmalar, MEA, DEA, absorbsiya, selektivlik, regeneratsiya.

СЕЛЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТ КИСЛЫХ КОМПОНЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛКАНОЛАМИНОВЫХ РАСТВОРОВ MEA И DEA

**Юлдашев Ташмурза
Рахманович**

Проф., д.т.н., Каршинский
государственный технический
университет, Карши,
Узбекистан

**Эшнӣёзов Акмал
Дилмуродович**

Ведущий инженер отдела
проектирования технологических
процессов ООО «Uzbekistan
GTL»,
Карши, Узбекистан

**Юлдашев Нуриддин
Ташмурзаевич**

Каршинский международный
университет, ассистент,
Карши, Узбекистан

**Абдуллаев Шахзод
Абдирахмон угли**

Оператор оборудования
общезаводского хозяйственного
цеха ООО «Uzbekistan GTL», г.
Карши, Узбекистан

Аннотация. В научной статье рассмотрены последовательности и критерии выбора оптимального абсорбента или их комбинированных типов для селективной очистки природного газа от кислых компонентов, а также проблемы, возникающие в технологии абсорбционной очистки. Изучено применение растворов моно- и диэтанолламинов для поглощения сероводорода, диоксида углерода и меркаптанов, а также их эффективность. Для колонного типа абсорбера

разработан оптимальный состав алканоламинов. В ходе экспериментов были синтезированы новые комбинированные абсорбенты путем добавления эфиров к растворам MEA и DEA. При использовании различных соотношений MEA и DEA получены результаты по эффективности очистки природного газа от кислых компонентов.

Ключевые слова: природный газ, аминовые растворы, MEA, DEA, абсорбция, селективность, регенерация.

SELECTIVITY OF NATURAL GAS PURIFICATION FROM ACIDIC COMPONENTS USING MEA AND DEA ALKANOLAMINE SOLUTIONS

**Yuldashev Tashmurza
Rakhmanovich**

Professor, Doctor of Technical
Sciences, Karshi State Technical
University, Karshi, Uzbekistan

**Eshniyozov Akmal
Dilmurodovich**

Leading Engineer of the
Technological Process Design
Department at "Uzbekistan GTL"
LLC, Karshi, Uzbekistan

**Yuldashev Nuriddin
Tashmurzayevich**

Karshi International University,
assistant, Karshi, Uzbekistan

**Abdullayev Shakhzod
Abdirakhmon ogli**

"Uzbekistan GTL" LLC General
Plant Farm Equipment Operator,
Karshi, Uzbekistan

Abstract. The scientific article analyzes the sequence and criteria for selecting optimal absorbents or their combinations for the selective removal of acidic components from natural gas, as well as challenges within absorption-based purification technology. The application of mono- and diethanolamine solutions for the absorption of hydrogen sulfide, carbon dioxide, and mercaptans has been investigated. An optimal alkanolamine composition for column-type absorbers has been developed. Experimental studies led to the synthesis of new combined absorbents by adding ethers to MEA and DEA solutions. Different ratios of MEA and DEA were tested, and results demonstrated the efficiency of natural gas purification from acidic components.

Keywords: natural gas, amine solutions, MEA, DEA, absorption, selectivity, regeneration.

Kirish. Tabiiy gazni nordon komponentlar va ularning zaharli gazlaridan tozalashda optimal absorbent yoki kombinatsiyalangan absorbent turlarini tanlash shartlari va mezonlari hamda ularni qo'llash texnologiyalarining tahlili ko'rib chiqilgan. Dunyo tajribasida neft va gaz xomashyosini sanoat miqyosida qayta ishlashga tayyorlashda alkanolaminli tozalashning turli usullari qo'llaniladi. Jumladan, monoetanolamin (MEA), dietanolamin (DEA), trietanolamin (TEA) va metildietanolamin (MDEA) eritmaları asosida vodorod sulfidi (H_2S), uglerod dioksidi (CO_2), merkaptanlar hamda oltingugurt birikmalarini yutuvchi sifatida ishlatilishi, ular bilan bog'liq muammolar va ularning yechimlari tahlil qilingan.

Kimyoviy reagentlar yordamida zaharli komponentlarni samarali tozalashda yutuvchi eritmaning ko'piklanishini oldini olish, shuningdek absorberning konstruktiv xususiyatlarining jaryonga ta'siri alohida o'rganilgan. Ishda kolonna turidagi absorberdan foydalanish maqsadga muvofiq deb tavsiya etiladi. Shuningdek, tabiiy gaz tarkibidagi kislotali gazlar hamda issiqlikka

chidamli tuzlarni aminli eritmalar yordamida samarali tarzda tozalashga ta'sir etuvchi omillar va mazkur usulning texnik-iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqligi tahlil qilingan [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

Metodologiya. Tabiiy gaz tarkibida uglevodorodlar bilan bir qatorda nordon komponentlar — uglerod dioksidi (CO_2), vodorod sulfid (H_2S), merkaptanlar (RSH) va boshqa birikmalar ham mavjud. Ushbu aralashmalar muayyan texnologik sharoitlarda neft va gaz mahsulotlarini tashish hamda ulardan foydalanish jarayonlarini sezilarli darajada murakkablashtiradi. Birlamchi qayta ishlash, tashish va iste'molda yuzaga keladigan muammolarni oldini olish uchun tabiiy gazdagi zaharli komponentlarning miqdori bo'yicha belgilangan me'yoriy ko'rsatkichlarga erishishni ta'minlaydigan zaruriy chora-tadbirlar oldindan ishlab chiqiladi.

Shu bois gazlarni tozalash texnologiyalari va absorbentlar tanlash mezonlari ishlab chiqilayotganda "keraksiz" komponentlarni chuqur darajada ajratib olish imkoniyatlari hamda ularni

qayta ishlash orqali kerakli mahsulotlarni olish masalalari ko'rib chiqiladi [8, 9, 10].

Kimyo sanoatida qayta ishlash jarayonlarida turli usullar va texnologiyalar qo'llaniladi. Ular ishlatiladigan absorbent moddalar, nordon komponentlarni ajratib olish samaradorligi va qayta ishlanadigan xomashyo hajmi bilan bir-biridan farqlanadi.

Tadqiqotning asosiy maqsadi — yuqoridagi muammolarni ilmiy asosda hal etish, ya'ni aminli eritmalaridan kompozitsion absorbentlar tayyorlash texnologiyasini ishlab chiqish hamda ularning yordamida tabiiy gazlarni nordon komponentlardan tozalash metodikasini yaratishdan iborat.

Muammoni hal etish usuli. Tadqiqotda adabiyotlar sharhidan olingan statistik ma'lumotlar, nazariy hisob-kitoblar hamda amaliy tajribalar natijalari asos qilib olindi.

Natijalar tahlili va muhokama. MGQIZ texnologik tizimida tabiiy gaz tarkibidagi nordon komponentlarni ajratib olishda aminli absorbentlardan foydalanish muhim bosqich hisoblanadi. Amaliyotda eng ko'p qo'llaniladigan absorbentlardan biri dietanolamin (DEA) bo'lib, u bir qator texnologik afzalliklarga ega. Biroq, DEA asosida ishlovchi tizimlar yuqori korroziya faolligiga ega bo'lib, qurilmalarga xizmat ko'rsatish xarajatlarini sezilarli darajada oshiradi. Shuningdek, aminli eritmalar sarfining yuqoriligi, regeneratsiya uchun zarur bo'lgan issiqlik energiyasining ko'pligi, eritgichlarning bug'lanib yo'qolishi, regeneratsiya samaradorligining pastligi va aminlarning termal barqarorligi yetarli emasligi bu usulning ekspluatatsion samaradorligini cheklaydi.

Natijada, texnologik jarayonning tannarxi ortadi va ekologik xavf darajasi kuchayadi.

Tadqiqotning asosiy maqsadi — aminli tozalash jarayonida yuzaga keladigan texnik va ekologik muammolarni chuqur tahlil qilish, ularning sabablarini aniqlash hamda samaradorlikni oshirishga xizmat qiluvchi optimal yechimlarni ishlab chiqishdan iboratdir [10, 11, 12]. Ayniqsa, gaz tarkibidagi H₂S va CO₂ kabi nordon komponentlarning aminlar bilan o'zaro ta'siri ushbu yo'nalishdagi asosiy ilmiy qiziqish ob'yekti hisoblanadi. Bu reaksiyalar aminlarning kimyoviy tuzilmasiga, xususan azot atomidagi o'rinbosar guruhlarining xususiyatlariga bog'liq bo'lib, ular aminlarning reaktivligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Mazkur ilmiy izlanishlar davomida mono-etanolamin (MEA) va dietanolamin (DEA) asosida tayyorlangan yangi kombinatsiyalangan absorbentlar sinovdan o'tkazildi. Ularning ishlash sharoitlaridagi afzalliklari va kamchiliklari aniqlanib, gaz tozalash texnologiyasini takomillashtirish, energiya sarfini kamaytirish va atrof-muhitga salbiy ta'sirni minimallashtirish bo'yicha muhim natijalar olindi [3, 9, 10, 12].

MEA va DEA eritmaları yordamida H₂S va CO₂ gazlarini selektiv ajratib olish texnologiyasida yutilish tezligi va jarayon parametrlari muhim ahamiyat kasb etadi. H₂S ni aminli eritmalar yordamida yutish jarayonida selektivlik darajasi asosan CO₂ ning yutilmay qolgan miqdori bilan belgilanadi.

Reaksiya kinetikasi nuqtayi nazaridan, H₂S ning aminlar bilan o'zaro ta'siri juda tez, deyarli bir zunda sodir bo'ladi, CO₂ bilan reaksiyasi esa nisbatan sekin kechadi. Bu holat H₂S ning gaz fazasida, CO₂ esa suyuqlik fazasida massauzatish qarshiligi ta'sirida yutilishini anglatadi. Ayniqsa, MEA eritmasining H₂S ni tez yutishi va CO₂ bilan nisbatan sust reaksiyaga kirishishi uning selektivlikdagi ustunligini ko'rsatadi.

DEA yordamida o'tkazilgan tajribalar H₂S ni CO₂ ga nisbatan yuqori selektivlikda ajratib olish imkoniyatini ko'rsatdi. Bunda gaz-suyuqlik kontakti davomiyligi muhim rol o'ynaydi: kontakt vaqti qisqargan sari H₂S ni ajratib olish darajasi ortadi, CO₂ esa amaliy jihatdan yutilmay qoladi.

Shu sababli, absorber apparatlarining geometrik parametrlari va ishchi rejimlari shunday moslashtirilishi kerakki, gaz tarkibidagi H₂S to'liq yutilsin, ammo CO₂ ning yutilishi minimal bo'lsin. Jarayon samaradorligini oshirishda kontakt vaqtini optimallashtirish selektiv yutilish mexanizmining asosiy omili hisoblanadi [12, 14, 15, 16].

MEAning DEAg nisbatan afzalliklari quyidagilardan iborat:

– H₂S va CO₂ gazlarining aminlar bilan reaksiyalanishida ajraladigan issiqlik miqdori nisbatan past bo'lgani sababli, absorbentlarni qayta tiklash (regeneratsiya) jarayonida energiya sarfi kamayadi. Bu esa texnologik jarayonning umumiy energiya samaradorligini oshiradi.

– Aminli eritmalar karbon kislotalar va korroziya ingibitorlari bilan reaksiyaga kirishganda rege-neratsiyalanmaydigan kimyoviy birikmalar —

amidlar hosil qilmaydi. Natijada aminlarning sarfi kamayadi hamda issiqlik almashgichlarning ichki yuzasida qattiq cho'kindilar to'planishining oldi olinadi.

– MEA va DEA eritmalari past to'yingan bug'lar bosimiga ega bo'lgani tufayli kam uchuvchanlik xususiyatiga ega. Bu esa regeneratsiya yoki ishlash jarayonida amin komponentlarining bug'lanib yo'qolishini kamaytiradi.

– Shuningdek, monoetanolamin (MEA) va dietanolamin (DEA) eritmalari bilan solishtirganda, metildietanolamin (MDEA) iste'moli biroz yuqoriroq bo'lsa-da, uning ekspluatatsion va energiya samaradorligi ko'plab hollarda ustun hisoblanadi.

Absorbsiya jarayonida jarayon parametrlari va massaalmashinuv qurilmalarining ta'siri. Metildietanolamin (MDEA) vodorod sulfidni (H_2S) yutishda yuqori faollikka ega bo'lsa-da, uning karbonat angidrid (CO_2) bilan reaksiyaga kirish tezligi nisbatan sekin kechadi. Ushbu kamchilikni bartaraf etish uchun MDEA eritmasiga birlamchi yoki ikkilamchi aminlar qo'shib, kimyoviy jihatdan faol aralash aminli eritma hosil qilinadi. Bu yondashuv CO_2 ni samarali yutish imkoniyatini oshiradi.

CO_2 bilan reaksiyaning sekinligi MDEA asosida ishlatilayotgan absorber apparatlarining konstruktiv parametrlariga bog'liq. Jumladan, apparatdagi likopchalar (nasadkalar) turi va gaz-suyuqlik kontakti davomiyligi muhim ahamiyat kasb etadi. CO_2 ni samarali ajratib olish uchun MDEA eritmasi absorberda yetarlicha uzoq vaqt davomida gaz fazasi bilan aloqada bo'lishi lozim.

Bosimning past bo'lgan holatlarida eritmaga yuqori reaktiv aminlar qo'shilishi CO_2 ni yutish samaradorligini yanada yaxshilaydi. Bu esa MDEA asosidagi aralash absorbentlardan foydalanish imkoniyatini kengaytiradi va tayyor gazga qo'yiladigan ekologik hamda texnologik talablarga to'liq javob berishini ta'minlaydi.

Aminli tozalash texnologik jarayonining ketma-ketligi. Aminli tozalash texnologiyasi doirasida **absorbsiya jarayoni** maxsus kolonna tipidagi qurilmada amalga oshiriladi (1-rasmga qarang). Bu jarayonda tabiiy gaz pastdan yuqoriga, aminli eritma esa yuqoridan pastga qarab harakatlanadi. Shu tarzda gaz va suyuqlik fazalarining uzluksiz qarshi oqimli kontakti

ta'minlanadi.

Absorber apparatining ichki qismida joylashgan nasadka yoki likopchalar fazalar orasidagi kontakt yuzasini kengaytiradi. Kimyoviy reaksiyalar asosan suyuqlik fazasida kechib, bunda vodorod sulfid (H_2S) va karbonat angidrid (CO_2) molekulalari aminli eritma bilan kimyoviy bog'lanib, xemosorbsiya jarayoni yuz beradi.

Amin eritmasi nordon komponentlar bilan to'yingach, u **desorber (bug'lantirish kolonnasi)** ga yuboriladi. Bu bosqichda aminli eritma regeneratsiyalanib, ya'ni gaz birikmalaridan tozalanadi. Desorbsiya endotermik jarayon bo'lib, issiqlik yutilishi, harorat oshishi va bosimning pasayishi hisobiga kechadi.

Barqaror ish rejimini ta'minlash uchun tizimga **antipen agentlar** (ko'piklanishga qarshi moddalar) qo'shiladi. Bu uskunaning ishonchli va uzluksiz ishlashini ta'minlaydi.

Aminli eritmalarining samaradorligiga ta'sir qiluvchi omillar. Aminli eritmalar asosida ishlovchi qurilmaning samaradorligi bir qator omillar ta'sirida susayishi mumkin:

– Aminlarning yuqori harorat ta'sirida yoki qo'shimcha kimyoviy reaksiyalar natijasida termik parchalanishi (destruksiya);

– Qurilma va quvurlar ichki sirtining korroziyaga uchrashi;

– Eritmalarining qatronlashuvi (smolalashuvi);

– Gazni tozalash jarayonida ko'piklanish;

– Uskuna va quvurlar ichida cho'kindi (tuzlar, reaksiyaga kirishmagan aralashmalar) hosil bo'lishi.

Ayniqsa, ko'piklanishning kuchayishi absorbent sarfining oshishiga va natijada tayyor gaz mahsuloti sifatining pasayishiga olib keladi. Uning eng muhim tashqi belgisi kolonnadagi bosimning keskin pasayishidir.

Korroziya jarayoni. Aminli eritmalarining korroziya faolligi turlariga qarab quyidagicha kamayadi:

$MEA > DEA > MDEA$ [18].

Korroziya intensivligi gaz tarkibidagi uglerod dioksid (CO_2) va vodorod sulfid (H_2S) nisbiy miqdorlariga bevosita bog'liq. Amaliy kuzatuvlarga ko'ra, CO_2 H_2S ga qaraganda kuchliroq korrozion ta'sir ko'rsatadi. Biroq, komponentlarning **nisbiy miqdori** muhim hisoblanadi, chunki ular amin

eritmasining kimyoviy tarkibini belgilaydi.

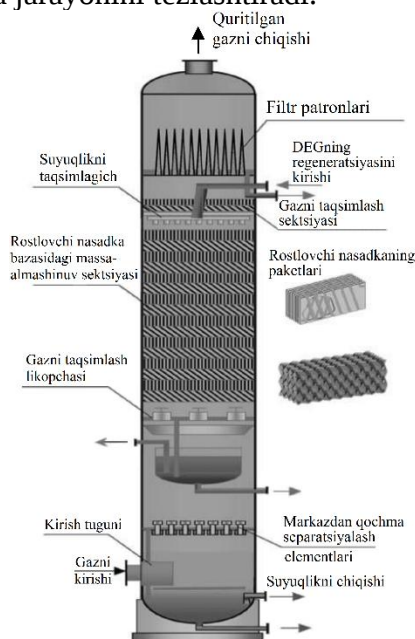
Bundan tashqari, korroziya darajasiga **harorat, bosim, pH** kabi fizik-kimyoviy sharoitlar, shuningdek, uskunaning konstruksion materiali (masalan, po‘lat tarkibi) ham ta’sir qiladi.

Haroratning oshishi va eritmadagi CO₂ konsentratsiyasining ortishi korroziya jarayonini kuchaytiradi. Shu bois, bunday sharoitlarda eritma hajmini oshirib filtratsiyaga yuborish zaruratga aylanadi.

Agar po‘lat sirtida temir sulfid (FeS) himoya qatlami hosil bo‘lgan va u eroziyaga uchramagan bo‘lsa, bu qatlam korroziyaga qarshi parda vazifasini bajaradi. Shu sababli, CO₂ nisbatan past, ammo H₂S yuqori bo‘lgan hollarda tozalash jarayonini to‘yintirilgan eritmalar yordamida amalga oshirish mumkin.

Issiqlikka chidamli tuzlar (ICHT) muammosi. Aminli eritmalarini regeneratsiya qilish jarayoni yuqori harorat talab etadi. Ayniqsa, regeneratsiya jarayonida kislorod ishtirok etganda, alkanolaminlarning parchalanishi kuchayadi. Natijada, amin kationlari organik (amin parchalanish mahsulotlari) va noorganik kislotalar anionlari bilan reaksiyaga kirishib, **issiqlikka chidamli tuzlar (ICHT)** hosil qiladi.

Bunday tuzlar eritmada to‘planib borib, tozalash samaradorligini pasaytiradi, uskunaning ish faoliyatida turli nosozliklarga olib keladi hamda korroziya jarayonini tezlashtiradi.



1-rasm. Kolonna turidagi absorberning umumiy ko‘rinishi.

Issiqlikka chidamli tuzlarning (ICHT) ta’siri va ularni bartaraf etish usullari. Absorbsiya tizimida issiqlikka chidamli tuzlar (ICHT) ning yig‘ilishi qator ekspluatatsion muammolarni keltirib chiqaradi. Jumladan, bunday holatlar:

- CO₂ ni yutish samaradorligini pasaytiradi;
- eritmaning fizik-kimyoviy xossalarini yomonlashtiradi;
- korroziya faolligini oshiradi;
- uskuna va quvurlar tixalishiga;
- eroziya jarayonlarining kuchayishiga sabab bo‘ladi.

ICHTlarni aminli eritmalaridan olib tashlash uchun ko‘pincha distillyatsiya (ion almashinuv) yoki elektrodializ (YED) usullari qo‘llaniladi. Biroq, bu yondashuvlar ICHT tarkibidagi ionlar bilan birga eritmadagi boshqa zaryadlangan zarrachalarning ham tizimdan chiqib ketishiga olib keladi. Shu bilan birga, parchalanish natijasida hosil bo‘lgan neytral mahsulotlarni ajratib olish uchun qo‘shimcha ishlov berish bosqichlari — masalan, qumli filtrlash yoki faollashtirilgan ko‘mirdan foydalanish talab etiladi.

ICHTlar texnologik gaz va suyuqlik tarkibida mavjud ayrim kislotali komponentlarning aminlar bilan qaytar bo‘lmagan reaksiyalari natijasida shakllanadi. Bu jarayonlar natijasida xloridlar, sulfatlar, formiatlar, atsetatlar, oksalatlar, tiotsinatlar va tiosulfatlar kabi mustahkam kimyoviy tuzlar hosil bo‘ladi. Ular amin eritmasi aylanish konturida asta-sekin to‘planib boradi. Agar ICHT konsentratsiyasi ruxsat etilgan darajadan oshsa, texnologik jarayon barqarorligiga salbiy ta’sir qiladi va uskunaning ekspluatatsiya jarayonida turli nosozliklarga olib keladi.

MEA+PEGDME+PEGMME asosidagi absorbent kompozitsiyalarini tadqiq etish. Mazkur tadqiqot doirasida monoetanolamin (MEA), polietilenglikol dimetil efiri (PEGDME) va polietilenglikol monometil efiri (PEGMME) asosida sintez qilingan yangi turdagi aralash absorbent kompozitsiyalarining gaz aralashmalaridan karbonat anhidrid (CO₂) va vodorod sulfid (H₂S) ni ajratib olishdagi samaradorligi va selektivligi o‘rganildi.

Tadqiqot ishlari gazlarni kimyoviy usulda tozalash texnologiyalarini takomillashtirishga qaratilgan bo‘lib, asosiy maqsad — selektivlik darajasini

oshirish va energiyaning umumiy sarfini kamaytirishdan iborat.

Tajriba sharoitlari:

- Gaz aralashmasi bosimi: 3–5 MPa;

- Gaz harorati: 55°C;

- Absorberga kiruvchi regeneratsiyalangan absorbent harorati: 60°C;

- Dastlabki gaz tarkibi: CO₂ – 3,25%, H₂S – 0,81%;

Bu parametrlar sanoat sharoitlariga yaqin real jarayonlarni ifodalaydi.

Absorbent kompozitsiyalari:

MEA+PEGDME+PEGMME asosidagi aralash absorbentlar quyidagi tarkibiy nomlar ostida tizimlashtirildi: MPP-1, MPP-2, MPP-3, MPP-4, MPP-5 va MPP-6. Har bir kompozitsiya turli nisbatda MEA, PEGDME va PEGMME komponentlarini o'z ichiga oladi.

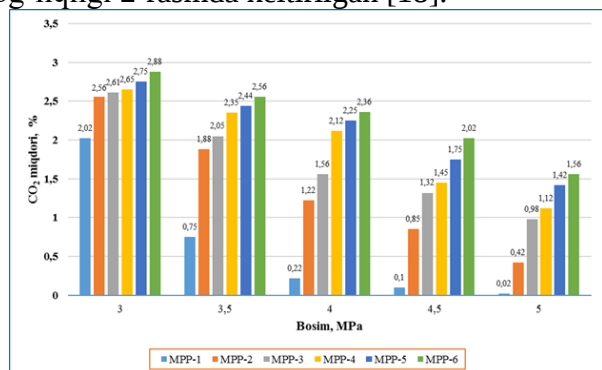
Ushbu kompozitsiyalar yordamida gaz tarkibidagi nordon komponentlarni ajratib olish samaradorligi, ya'ni CO₂ ni yutish darajasi, turli bosim qiymatlarida baholandi. Natijalar asosida har bir kompozitsiyaning bosimga nisbatan faolligi va selektivligi aniqlanib, ularning o'zaro ustunliklari solishtirildi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki:

- Kompozitsiyalardagi PEGDME va PEGMME komponentlari MEA bilan sinergik ta'sir ko'rsatib, H₂S ni CO₂ ga nisbatan yuqori selektivlikda yutadi.

- Bu kompozitsiyalar gazlarni selektiv tozalash texnologiyalarida qo'llash uchun istiqbolli vosita sifatida baholanishi mumkin.

- CO₂ ni yutish darajasining gaz bosimiga bog'liqligi 2-rasmda keltirilgan [18].



2-rasm. MPP-1, MPP-2, MPP-3, MPP-4, MPP-5 va MPP-6 absorbent kompozitsiyalarini tabiiy gaz tarkibida CO₂ ajratib olish darajasini bosimga bog'liqligi.

Olib borilgan eksperimental tadqiqotlar natijalariga ko'ra, MEA, PEGDME va PEGMME asosida tayyorlangan MPP-1, MPP-2, MPP-3, MPP-4, MPP-5 va MPP-6 absorbent kompozitsiyalarining tabiiy gaz tarkibidagi karbonat anhidrid (CO₂) ni ajratib olish darajasi gaz bosimining ortishi bilan bevosita bog'liq ekanini aniqlandi. Ya'ni, bosim oshgan sari CO₂ ni tozalash samaradorligi ham ortib boradi.

Absorbsiya samaradorligini taqqoslash shuni ko'rsatdiki, MPP-1 kompozitsiyasi eng yuqori natijani namoyon etdi. Ushbu kompozitsiya quyidagi tarkibiy nisbatlarda tayyorlangan: 20% MEA, 5% PEGDME, 5% PEGMME va 70% suv. 5 MPa bosim ostida tabiiy gaz tarkibidagi CO₂ miqdori 3,25% dan 0,02% gacha kamaygan. Bu natija MPP-1 kompozitsiyasining CO₂ ga nisbatan yuqori yutilish faolligiga ega ekanini ko'rsatadi.

Absorber qurilmasida kiruvchi gaz bosimi 5 MPa bo'lganda, chiquvchi gaz bosimi 4,7 MPa ni tashkil qildi. Bu esa bosimning katta bo'lmagan yo'qotilishi evaziga yuqori samaradorlikka erishilganini tasdiqlaydi [19, 20]. Shuningdek, PEG asosidagi efir moddalarning MEA bilan qo'shilishi absorbsiya samaradorligini oshirib, selektivlikni yaxshilagan. Ayniqsa, MPP-1 tarkibi optimal nisbatda tanlangani sababli eng yuqori CO₂ ajratish darajasini ko'rsatdi.

Keyingi bosqichda

DEA+PEGDME+PEGMME asosida tayyorlangan DPP-1, DPP-2, DPP-3, DPP-4, DPP-5 va DPP-6 absorbent kompozitsiyalari tadqiq qilindi. Sinovlar quyidagi rejimda olib borildi:

- Bosim: 3–5 MPa;

- Kiruvchi gaz harorati: 30–55°C;

- Kiruvchi absorbent harorati: 35–60°C.

Natijalar shuni ko'rsatdiki, DEA asosidagi kompozitsiyalar (DPP-1, DPP-2 va b.) MEA asosidagi kompozitsiyalarga nisbatan yuqoriroq samaradorlikka ega. Masalan:

- 3 MPa bosim, 30°C gaz va 35°C amin haroratida, DPP-1 yordamida tabiiy gaz tarkibidagi umumiy S 0,011 g/m³ gacha, CO₂ esa 0,20% gacha kamaydi.

- DPP-2 ishtirokida esa umumiy S 0,032 g/m³ gacha, CO₂ esa 0,46% gacha kamaydi.

- Bosim 5 MPa gacha ko'tarilib, gaz/amin harorati mos ravishda 45/40°C bo'lganda, DPP-1 va DPP-2 yordamida umumiy S 0,001 g/m³ gacha

kamayganini qayd etildi [4, 9, 10].

Tadqiqotlarning yakuniy bosqichida MEA+DEA+PEGDME+PEGMME asosida tayyorlangan MDPP-1, MDPP-2, MDPP-3, MDPP-4 va MDPP-5 kompozitsiyalari o'rganildi. Maqsad — MEA va DEA aminlarining PEGDME va PEGMME bilan sinergetik ta'sirini tahlil qilish edi.

Natijalar shuni ko'rsatdiki, MEA va DEA alohida qo'llanilganda olingan kompozitsiyalarga nisbatan MEA+DEA asosidagi kombinatsiyalar yanada samarali. Masalan:

- 3 MPa bosim va gaz/amin harorati mos ravishda 35/40°C bo'lganda:

- MDPP-1 yordamida gaz tarkibida umumiy S 0,02 g/m³, CO₂ esa 0,35% gacha kamaydi.

- MDPP-2 yordamida umumiy S 0,001 g/m³, CO₂ esa 0,36% gacha kamaydi.

- MDPP-5 ishtirokida esa umumiy S 0,001 g/m³, CO₂ esa 0,04% gacha kamaydi.

Gaz bosimi oshib, amin va gazning harorati pasayishi bilan ushbu ko'rsatkichlar yanada yaxshilangan [18, 21].

Xulosa. Tadqiqot natijalariga ko'ra, MEA+DEA+PEGDME+PEGMME asosida sintez qilingan absorbent kompozitsiyalari gazlarni nordon komponentlardan tozalashda yuqori

samaradorlik va selektivlikni namoyon etdi. "Muborak gazni qayta ishlash zavodi" texnologik qurilmasida o'tkazilgan sinovlar shuni ko'rsatdiki, tajriba rejimlari — Qgaz = 200×10³ m³/soat, bosim 3 MPa, kiruvchi gaz harorati 55°C va chiquvchi gaz harorati 64°C — sharoitida olingan kompozitsiyalar vodorod sulfid va uglerod dioksidini samarali ajratib oldi. Bosim ortishi bilan CO₂ ning yutilish darajasi ham oshib bordi: masalan, MPP-1 kompozitsiyasi yordamida 3 MPa bosim ostida umumiy oltingugurt miqdori 0,024 g/m³ gacha, CO₂ miqdori esa 0,18% gacha kamaygan bo'lsa, 3,5 MPa bosim ostida ushbu ko'rsatkichlar mos ravishda 0,020 g/m³ va 0,09% gacha tushdi. Shuningdek, DPP-1 kompozitsiyasi yordamida umumiy S konsentratsiyasi 0,011 g/m³ gacha, CO₂ miqdori 0,20% gacha kamaygan bo'lsa, DPP-2 da bu ko'rsatkichlar mos ravishda 0,032 g/m³ va 0,46% ni tashkil etdi. Eng yuqori samaradorlik 5 MPa bosim ostida qayd etilib, DPP-1 va DPP-2 kompozitsiyalari yordamida umumiy S 0,001 g/m³ gacha kamaydi. Ushbu natijalar ishlab chiqilgan absorbent kompozitsiyalarining texnologik va ekologik talablarga javob berishini hamda ularni sanoat miqyosida qo'llash istiqbolli ekanini ko'rsatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Yuldashev, T. R. (2022). Neft va gaz sanoati texnologiyasi va kimyosi. Qarshi: Intellect nashriyoti.
2. Yuldashev, T. R. (2023). Исследование состава и физических свойств абсорбентных композиций на основе амина и эфиров. КарДУ хабарлари, 2(1(58)), 67–72.
3. Yuldashev, T. R. (2023). Modern Research in Science and Education. Proceedings of III International Scientific and Practical Conference (pp. 330–334). Chicago: SCI-Conf.com.ua.
4. Yuldashev, T. R., & Makhmudov, M. J. (2023). Cleaning of natural from sobe component. Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 16(3), 296–306.
5. Makhmudov, M. J., & Yuldashev, T. R. (2023). Cleaning of natural from sobe component. Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 16(3), 296–306.
6. Юлдашев, Т. Р. (2023). Основа оборудования, используемого в процессе очистки газоабсорбционной технологии. Universum: технические науки, 5–6(110), 20–24.
7. Yuldashev, T. R. (2023). Tabiiy gazlarni vodorod sulfid va uglerod oksidlaridan tozalashda qo'llaniladigan absorbentlar. Sanoatda raqamli texnologiyalar / Цифровые технологии в промышленности, 1(1), 92–99.
8. Khayitov, J., Yuldashev, T. R., Eshburiyevich, B. F., Mahmudjanovic, I. B., Nurboboyevich, R. K., Ziyadullayevich, U. B., & Yunusov, K. E. (2024). Transition metal-catalyzed carbonylative coupling of aryl/alkyl halides with thiols: A straightforward synthesis of thioester derivatives. Chemical Review and Letters, 7(2), 333–345.
9. Юлдашев, Т. Р. (2023). Очистка газа от кислых компонентов и пути ее решения. In Научно-технический прогресс. Задачи и их решения (pp. 150–155).

10. Yuldashev, T. R. (2023). Tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalashda selektivligi yuqori bo'lgan aminli eritmalardan foydalanishning samaradorligi. Sanoatda raqamli texnologiyalar / Цифровые технологии в промышленности, 1(1), 86–92.
11. Tashmurza, Y. (2024). Study of the degree of foaming of absorbent compositions used when purifying gases from acidic components. Universum: технические науки, 9(3(120)), 40–44.
12. Юлдашев, Т. Р. (2023, November). Изучение активности и селективности абсорбирующих композиций в процессе очистки газов от кислых компонентов CO₂ и H₂S. In The 3rd International scientific and practical conference “Global science: prospects and innovations” (p. 329). Liverpool, UK: Cognum Publishing House.
13. Raxmonovich, Y. T. (2025). Neft gazini utilizatsiya qilishda yangi suyultirish texnologiyasini qo'llanilishining afzalligi. Sanoatda raqamli texnologiyalar / Цифровые технологии в промышленности, 3(1), 129–134.
14. Юлдашев, Т. Р. (2024). Исследование процесса очистки газа от кислых компонентов. Formation of Psychology and Pedagogy as Interdisciplinary Sciences, 3(29), 388–402.
15. Yuldashev, T. R. (2024). Tabiiy gazlarni nordon komponentlardan tozalashning texnologik jarayonlarini modellashtirish va rejalashtirish matritsasining xususiyatlari. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 2(1).
16. Raxmonovich, Y. T. (2024). Tabiiy gazlarni nordon komponentlardan tozalashning texnologik jarayonlarini optimallashtirish jarayoni. Sanoatda raqamli texnologiyalar / Цифровые технологии в промышленности, 2(1), 85–91.
17. Yuldashev, T. R. (2024). Tabiiy gazlarni nordon komponentlardan tozalashning texnologik jarayonlarini modellashtirish va rejalashtirish matritsasining xususiyatlari. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 2(1).
18. Tashmurza, Y. (2024). Study of the degree of foaming of absorbent compositions used when purifying gases from acidic components. Universum: технические науки, 9(3(120)), 40–44.
19. Yuldashev, T. R., Rakhimov, G. B., Bekmurodov, A. A., & Jabborov, N. X. (2024). Increasing the efficiency of cleaning natural gases from sour components. Экономика и социум, 11–1(126), 626–631.
20. Yuldashev, T. R., Rakhimov, G. B., Bekmurodov, A. A., & Jabborov, N. X. (2024). Methods of preventing foam in devices for cleaning gas from normic components. Экономика и социум, 11–1(126), 619–625.
21. Юлдашев, Т. Р. (2023). Исследование активности и селективности абсорбирующих композиций в процессе очистки газов от кислых компонентов CO₂ и H₂S. Universum: технические науки, 12–6(117), 62–65.
22. Юлдашев, Т. Р. (2023, November). Получение и физические свойства абсорбентных композиций на основе амина и эфиров. In The 3rd International scientific and practical conference “Modern research in science and education” (p. 330). Chicago, USA: BoScience Publisher.

UO‘K: 661.728.89

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.23

METANOL VA TABIIY GAZDAN DIMETIL YOQILG‘ISINI (DME) ISHLAB CHIQARISH VA UNI QAYTA ISHLASH TEXNOLOGIYASINI TANLASH



Yuldashev Tashmurza Raxmanovich

Professor, t.f.d., Qarshi davlat texnika universiteti,
Qarshi, O‘zbekiston

E-mail: tashmurzayuldashev1959@gmail.com



Abdullayev Shaxzod Abdiraxmon o‘g‘li

“Uzbekistan GTL” MChJ
Umumzavod xo‘jalik sexi qurilma operatori, Qarshi, O‘zbekiston

E-mail: shahzodbekabduraxmonovich@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada muqobil energiya manbalarini barqaror rivojlantirish masalalari hamda zamonaviy motor yoqilg‘ilarini ishlab chiqarish texnologiyalari yoritilgan. Xususan, turli xil sun‘iy yoqilg‘ilarni olishda kriogen usullarni samarali qo‘llash, metanol asosida motor yoqilg‘isi ishlab chiqarishning yangi texnologiyalari, shuningdek, dimetil efirini sintez qilish va yoqilg‘i sifatida dizel dvigatellarida qo‘llash imkoniyatlari ilmiy jihatdan tahlil qilingan. Maqolada metan gazini konversiya qilish asosida yoqilg‘i olish yo‘llari, dimetil efirini ishlab chiqarishda adiabatik jarayonlarning afzalliklari, atrof-muhitni muhofaza qilish hamda ekologik muammolarni bartaraf etish bo‘yicha ilmiy asoslangan yechimlar ham ko‘rib chiqilgan.

Kalit so‘zlar: metanol, dimetil efiri, metanol xomashyosi, suyuq uglevodorodlar, adiabatik jarayon, katalizatorlar, metanolni degidratsiyasi, kondensatsiyalash, sintez-gaz.

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ ДИМЕТИЛОВОГО ТОПЛИВА (ДМЭ) ИЗ МЕТАНОЛА И ПРИРОДНОГО ГАЗА

Юлдашев Ташмурза Рахманович

Профессор, д.т.н., Каришинский государственный
технический университет, Кариши, Узбекистан

Абдуллаев Шахзод Абдирахмон угли

Оператор оборудования цеха сельскохозяйственного
производства ООО «Uzbekistan GTL», Кариши, Узбекистан

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы устойчивого развития возобновляемых источников энергии, а также современные технологии производства моторных топлив. В частности, проанализированы эффективное применение криогенных методов при получении различных видов синтетических топлив, новые технологии получения моторного топлива на основе метанола, а также синтез диметилового эфира и возможности его использования в качестве топлива для дизельных двигателей. В работе также освещены пути получения топлива на основе конверсии метана, преимущества адиабатических процессов при производстве диметилового эфира, а также научно обоснованные решения по охране окружающей среды и устранению экологических проблем.

Ключевые слова. метанол, диметиловый эфир, метанолное сырьё, жидкие углеводороды, адиабатический процесс, катализаторы, дегидратация метанола, конденсация, синтез-газ.

SELECTION OF TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION AND PROCESSING OF DIMETHYL FUEL (DME) FROM METHANOL AND NATURAL GAS

Yuldashev Tashmurza Rakhmanovich

Professor, Doctor of Technical Sciences, Karshi State Technical
University, Karshi, Uzbekistan

Abdullaev Shakhzod Abdirakhmon ugli

Device operator of the general-purpose shop of Uzbekistan GTL
LLC, Karshi, Uzbekistan

Abstract. This article examines the issues of sustainable development of renewable energy sources and modern technologies for motor fuel production. In particular, it analyzes the effective application of cryogenic methods in obtaining various types of synthetic fuels, new technologies for producing motor fuel based on methanol, as well as the synthesis of dimethyl ether and its potential use as a fuel for diesel engines. The study also highlights the pathways of fuel production through methane conversion, the advantages of adiabatic processes in dimethyl ether production, and scientifically grounded solutions for environmental protection and the mitigation of ecological challenges.

Keywords: methanol, dimethyl ether, methanol feedstock, liquid hydrocarbons, adiabatic process, catalysts, methanol dehydration, condensation, syngas.

Kirish. XXI asr boshlariga kelib avtomobil transportining tezkor rivojlanishi global ekologik muammolarning yanada keskinlashishiga olib keldi. Ichki yonuv dvigatellaridan chiqayotgan zararli gazlar hamda turli ifloslantiruvchi moddalarning atrof-muhitga salbiy ta'siri natijasida nafaqat ekologik muvozanat buzilmoqda, balki inson salomatligi uchun xavf tug'diruvchi kasalliklarning ham ortib borishi kuzatilmoqda. Xususan, yirik shaharlarda atmosfera havosining ifloslanishi tobora kuchayib, ilgari musaffo bo'lgan osmon bugungi kunda chang va tutun qatlamlari bilan qoplanib bormoqda [1].

Avtotransport vositalaridan chiqayotgan ishlov berilgan gazlar, benzin bug'lari va boshqa zararli qo'shimchalarning atmosferaga tarqalishi natijasida har yili milliardlab tonna ifloslantiruvchi moddalar hosil bo'lmoqda. Bunday vaziyat ekologik xavfsizlikni ta'minlashga qaratilgan davlat siyosatini tubdan qayta ko'rib chiqishni zarur qiladi [2].

Hozirgi kunda Vazirlar Mahkamasi hamda Ekologiya va atrof-muhitni muhofaza qilish vazirligi zimmasiga bu kabi zararli chiqindilarni faqat kamaytirish emas, balki ularning oldini olishga qaratilgan qat'iy chora-tadbirlarni ishlab chiqish va joriy etish vazifasi yuklatilgan. Shu boisdan, ekologik toza va xavfsiz motor yoqilg'ilaridan foydalanish shaharlarda ekologik muvozanatni tiklashning eng maqbul yo'llaridan biri sifatida qaralmoqda [3].

Bugungi kunda dunyoning rivojlangan davlatlarida ekologiyani muhofaza qilish va ifloslanish manbalarini qisqartirish bo'yicha keng ko'lamli ishlar amalga oshirilmoqda. Yetakchi avtomobil ishlab chiqaruvchi kompaniyalar milliardlab dollar miqdoridagi mablag'larni nafaqat yangi transport vositalarini yaratishga, balki muqobil motor yoqilg'ilari ishlab chiqarish texnologiyalarini takomillashtirish hamda energiya manbalarini barqaror rivojlantirishga yo'naltirmoqda.

Ko'plab mamlakatlarda an'anaviy yoqilg'ilarni tabiiy gazdan olinadigan sintetik uglevodorod suyuqliklari bilan qisman almashtirish masalasi kun tartibiga chiqmoqda. Biroq, bunday yoqilg'ilarning nisbatan arzonligi bilan bir qatorda, mavjud zaxiralarining chegaralanganligi ushbu sohada hal etilishi lozim bo'lgan muhim muammolardan biri bo'lib qolmoqda.

O'tkazilgan ilmiy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, dimetil efir, propan-butan yoki metan asosidagi muqobil motor yoqilg'ilari qo'llanilganda, atmosferaga chiqariladigan uglerod oksidlari, uglevodorodlar va azot oksidlari miqdori an'anaviy suyuq yoqilg'ida ishlaydigan dvigatellarga nisbatan 30–70 foizga kamayadi. Bu esa ekologik xavfsizlikni ta'minlashda muhim omil sifatida ahamiyat kasb etadi.

So'nggi yillarda dunyoning ko'plab yirik xalqaro kompaniyalari va ilmiy-tadqiqot markazlari — xususan, Mitsubishi, Toyo Engineering, Hitachi, NKK (Yaponiya), Haldor Topsoe (Daniya), British

Petroleum (Buyuk Britaniya), Lurgi (Germaniya), shuningdek, Rossiyaning Neft-kimyó sintezi instituti, NAMI va NIID — dimetil efir (DME)ni ishlab chiqarish, tashish, saqlash hamda transport vositalarida qo'llash bo'yicha texnologiyalarni takomillashtirish ustida keng ko'lamli tadqiqot va amaliy ishlarni olib bormoqdalar [4,5].

Metanol o'zining yuqori oktan soni (150 ga yaqin) tufayli motor yoqilg'isi sifatida katta energiya samaradorligiga ega. U faqat kimyoviy toza erituvchi sifatida emas, balki avtomobil dvigatellarida benzinni almashtiruvchi yuqori oktanli yoqilg'i sifatida ham keng qo'llaniladi. Xorijiy tajribalar shuni ko'rsatadiki, metanolda ishlaydigan dvigatellar quvvati oddiy benzinda ishlovchi dvigatellarnikiga qaraganda o'rtacha 20% ga yuqoridir. Bundan tashqari, bunday dvigatellardan chiqadigan ishlov berilgan gazlar ekologik xavfsizlik nuqtai nazaridan ancha toza bo'lib, ularning tarkibida zaharli moddalar deyarli aniqlanmaydi.

Tarixan, metanol yog'ochlarni quruq haydash yo'li bilan olinib kelingan bo'lsa-da, hozirgi paytda bu usul sanoat miqyosida deyarli qo'llanilmaydi. Zamonaviy texnologiyalarda esa metanol, asosan, uglerod(II) oksidi va vodorodning katalitik sintezi asosida ishlab chiqariladi, bu esa texnologik jarayonning iqtisodiy samaradorligini oshiradi.

Shuningdek, metanol asosida ishlaydigan dvigatellar chiqindilarida azot oksidi miqdorini keskin kamaytirish imkoniyati mavjud. Yonmagan uglevodorodlar va boshqa zararli birikmalarning havoga chiqishi ham ancha past bo'ladi. Ayrim tahlillarga ko'ra, avtomobil gazlaridagi ifloslantiruvchi moddalar miqdori 10% atrofida qayd etilgan. Bu esa metanolni motor yoqilg'isi sifatida ekologik xavfsiz va istiqbolli yoqilg'i turiga aylantiradi [3,6].

Muammoni hal etish yondashuvi. Ushbu tadqiqotda mavjud ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish, statistik ma'lumotlarni o'rganish, nazariy yondashuvlar va amaliy tajribalarni qo'llash asosida xulosalar shakllantirildi. Shuningdek, sanoat amaliyotidagi real ishlab chiqarish tajribasi asosida muqobil yoqilg'i — xususan, dimetil efir (DME) ishlab chiqarishning hozirgi holati va istiqbollari o'rganildi.

Natijalar tahlili va amaliy misollar. MDH hududida hozirda dimetil efirini metanol xom-

ashyosi asosida ishlab chiqarishga mo'ljallangan yagona ishlayotgan sanoat qurilmasi Moskva viloyatidagi "Azot" zavodida faoliyat yuritmoqda. Dimetil efir o'zining noyob fizik-kimyoviy xossalari tufayli freonlar va dizel yoqilg'ilarining muqobili sifatida qo'llanadi, shuningdek, ammiak ishlab chiqarish jarayonida ikkilamchi mahsulot sifatida hosil bo'ladi.

"Novomoskva" kimyo majmuasi faoliyatining dastlabki bosqichida korxona asosan ammiak ishlab chiqarishga yo'naltirilgan edi. O'sha davrda ammiak yog'och materiallarini quruq haydash yo'li orqali olingan. Biroq ishlab chiqarish quvvatlarining kengayishi bilan zamonaviy texnologiyalarga asoslangan uchta yangi "Ammiak" sexi ishga tushirildi va ularda ammiak tabiiy gaz asosidagi jarayon orqali ishlab chiqarila boshlandi. Bu esa yog'och asosidagi usulning sanoat miqyosida iqtisodiy jihatdan samarasiz ekanini ko'rsatdi [7].

Sanoat texnologiyalarining globallashuvi, ishlab chiqarish hajmining ortib borishi va xalqaro bozorda metanolga bo'lgan talabning keskin oshishi "Azot" zavodini ammiak ishlab chiqarishdan metanol ishlab chiqarishga yo'naltirish zaruratini yuzaga keltirdi. Shu maqsadda korxonada modernizatsiya ishlari olib borilib, u "Ammiak va metanol ishlab chiqarish" majmuasiga aylantirildi.

Mazkur korxonada 1981-yildan boshlab metanol ishlab chiqarish yo'lga qo'yilgan. Metanolga bo'lgan talabning muntazam ortib borishi tufayli ishlab chiqarish hajmi ham bosqichma-bosqich kengaytirildi. Ishlab chiqarilgan metanol xomashyosi tarkibi boyitilib, M-100 markali mahsulot sifatida ajratilib, rektifikatsiya jarayoni orqali iste'molchilarga yetkazib berila boshlandi. Shu bilan birga, hosil bo'layotgan efir fraksiyalari esa o'sha davrda shunchaki yoqib yuborilgan [8,9].

Keyinchalik o'tkazilgan tahlillar mazkur efir fraksiyalarida eng qimmatli va istiqbolli komponent — dimetil efir (DME) yetarli miqdorda mavjudligini ko'rsatdi. Shu sababli metanol xomashyosi asosida DME ishlab chiqarish texnologik jarayoni ishlab chiqilib, amaliyotga joriy etil.

Hozirgi vaqtda "Ammiak va metanol ishlab chiqarish" majmuasining "Sintez" sexida dimetil efir ishlab chiqarishga mo'ljallangan rektifikatsiya kolonnasi o'rnatilgan bo'lib, ushbu yo'nalishda

to'liq ishlab chiqarish texnologiyasi yo'lga qo'yilgan.

Dimetil efir (DME) oddiy alifatik efirlarning boshlang'ich sinflariga kiradi. U atmosferada tezda parchalanganligi sababli freonlarning o'rnini bosuvchi xladagent sifatida qo'llaniladi. 1995-yilda o'tkazilgan xalqaro kongress—ko'rgazmada DME “XXI asrning dizel yoqilg'isi” sifatida qo'llanishi ta'kidlangan. Energiya sig'imi bo'yicha u an'anaviy dizel yoqilg'isidan 1,5 marta kamroq bo'lsada, asosiy texnik ko'rsatkichlari yuqoriligi bilan ajralib turadi: setan soni 55–60 birlikni tashkil etadi, alanganlash harorati esa $T = 235^{\circ}\text{C}$ ga teng [1,10].

DMEning dizel yoqilg'isi sifatidagi eng muhim afzalligi u ekologik toza mahsulot sifatida ishlab chiqarilishidir. Yaponiya tadqiqotchilarining ta'kidlashicha, DMEning keng ko'lamda yoqilg'i sifatida qo'llanilishi suyultirilgan gazga nisbatan gaz-turbinali qurilmalar uchun yanada tejamkor hisoblanadi.

Texnologik ishlab chiqarish “Vaqtning ta'siri”ni hisobga olgan holda, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari (ABT) bazasida yaratilgan. U ikki karkadli nazorat dasturi asosida ishlovchi “multitrey % 5B” qurilmasi bilan jihozlangan. Mazkur tizim tarkibiga bir nechta zamonaviy qurilmalar kiritilgan [11].

Texnologik ishlab chiqarishni Avtomatlashtirilgan qurilmasi — bu jarayonni uzluksiz va xavfsiz boshqarishga xizmat qiluvchi texnik majmua bo'lib, uning ishlashi maxsus portlashdan himoyalangan shkaf orqali ta'minlanadi. Texnik nazorat tizimi ikkita protsessor, USO modullari hamda tarmoqning ikkita konsentratoridan tashkil topgan.

Ikkita master-modul tizimning ishonchliligini oshirish uchun qo'llaniladi: ulardan biri doimiy ravishda faol ishlaydi, ikkinchisi esa taxminan 10 Grs tezlikda barcha ma'lumotlarni parallel ravishda qayta ishlaydi. Asosiy moduldan rezerv modulga o'tish jarayoni avtomatik ravishda, uzilish sezilmasdan 1,6 soniya ichida amalga oshadi.

Master-modulning tuzilishi uchta asosiy blokdan iborat: protsessor (CPU) — sanoat IBM-AT-486 kompyuteri DOS operatsion tizimida ishlaydi; ST BUS nazorat bloklari; hamda statik energiyaga mustaqil xotira (SRAM 512K) va flesh-disklar (Flash Disk 2 MB) bo'lib, ular ishchi dasturlarni saqlash hamda joriy jarayon

ma'lumotlarini vaqtincha saqlash uchun xizmat qiladi [12].

DMEning eng katta ustunligi — uning ekologik tozaligidir. Bu jihat uni dizel yoqilg'isining zamonaviy va xavfsiz muqobili sifatida baholash imkonini beradi. Yaponiya olimlarining fikricha, DMEni yoqilg'i sifatida sanoat miqyosida keng joriy etish, xususan gaz turbinali qurilmalarda qo'llash, suyultirilgan gazga nisbatan iqtisodiy hamda energetik samaradorligi bilan ajralib turadi.

Tizim temir asosli platformada joylashtirilgan dasturiy boshqaruv modullaridan tashkil topgan bo'lib, texnologik jarayonlarni muvofiqlashtirishda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Qurilma portlashdan himoyalangan maxsus shkafga o'rnatilgan. Texnik nazorat tizimi ikki protsessorli konfiguratsiyada ishlab chiqilgan bo'lib, unda USO modullari, ikki tarmoqli konsentrator va boshqaruv bloklari mavjud.

Ishonchlilikni oshirish maqsadida tizimda ikkita master-modul qo'llaniladi: birinchisi asosiy funksiyalarni bajaruvchi faol modul, ikkinchisi esa zaxira sifatida ishlaydi va har 10 millisekundda barcha ma'lumotlarni asosiy modul bilan sinxronlashtirib boradi. Agar asosiy modulda uzilish yuz bersa, zaxira modul avtomatik ravishda boryo'g'i 1,6 soniya ichida boshqaruvni o'z zimmasiga oladi.

Master-modul uch asosiy bo'limdan iborat: sanoat darajasidagi protsessor (CPU, IBM-AT-486), ST BUS nazorat moduli hamda energiyaga mustaqil operativ xotira (SRAM 512K) va flesh-disk (Flash Disk 2 MB). Ushbu komponentlar jarayon dasturlarini hamda oraliq joriy ma'lumotlarni ishonchli saqlash vazifasini bajaradi.

USO modullari — bu kirish/chiqish uchun mo'ljallangan universal interfeysli qurilmalar bo'lib, ular analog va diskret signallarni datchiklar orqali qabul qilib, master-modulga uzatadi. Shuningdek, master-moduldan chiqariladigan boshqaruv signallari va buyruqlarni ijro mexanizmlariga yetkazadi. Bunday rostlagichlarning o'ziga xos jihatlaridan biri — har bir modulda almashiriladigan old panel mavjudligi bo'lib, bu texnik xizmat ko'rsatish jarayonini sezilarli darajada soddalashtiradi.

Tadqiqotning maqsadi. Yirik xalqaro kompaniyalar, jumladan BP va Marubeni ekspert

baholariga ko'ra, tabiiy gazni konversiya qilish orqali uglevodorodli suyuqlik aralashmalari (USA) yoki motor yoqilg'isi shaklida tijorat texnologiyalarini rivojlantirish istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Bunday mahsulotlarning samaradorligi ayniqsa dimetil efir (DME) misolida yaqqol ko'zga tashlanadi. Uning fizik-kimyoviy xossalari propan-butan aralashmasiga juda yaqin.

O'zbekistonda esa DME yoqilg'isini ishlab chiqarish uchun mavjud infratuzilmalardan — "O'zbekiston GTL" zavodi, "Ustyurt gazni qayta ishlash kompleksi" hamda "Navoiy azot" zavodini modernizatsiya qilish orqali to'liq foydalanish imkoniyati mavjud.

Sanoat amaliyoti va iqtisodiy samaradorlik. Bugungi kunda tabiiy gazni konversiya qilib benzin va dizel yoqilg'isi olish amaliyoti Shell, ExxonMobil kabi yirik kompaniyalar texnologiyalari asosida amalga oshirilmoqda. Biroq bu usullar ko'p bosqichli sintez jarayoniga ega bo'lgani va oraliq bosqichlarda yuqori energiya sarfini talab qilgani sababli, iqtisodiy samaradorlik nuqtai nazaridan an'anaviy neftni qayta ishlash usullariga nisbatan pastroq hisoblanadi.

1-jadval

SIF, Rotterdam sharoitlarida har xil turdagi energiya tashuvchilarning bahosi

Yoqilg'ini turi	Bahosi, doll./tonna
Neftli dizel yoqilg'isi	220-240
Suyultirilgan neft gazi	240-260
Propan	380-390
Suyultirilgan tabiiy gaz (STG)	165-175
DME	160-180
(Izoh. Qurilmaning ishlab chiqarish ko'rsatkichi - 1.5 mln tonn/yil; Tabiiy gazning bahosi - \$45/tis. m ³)	
Fisher-Tropsh jarayoni bo'yicha suniy dizel yoqilg'isi	280-300

Masalan, Shell texnologiyasida olingan gazoyl faqat neftdan olingan gazoyl bilan aralashirilgan holda foydalanishga yaroqli. Shuningdek, ushbu usulning raqobatbardosh bo'lishi uchun bir qator iqtisodiy shartlar bajarilishi zarur: tabiiy gaz narxi ming kub metrdan 16 AQSh dollaridan oshmasligi, yillik ishlab chiqarish hajmi kamida 700 ming tonnani tashkil etishi, hamda xom neft narxi tonnasiga 120–125 AQSh dollaridan yuqori bo'lmasligi lozim.

Xalqaro tendensiyalar va ishlab chiqarish salohiyati. Dunyo miqyosida, xususan rivojlangan mamlakatlarda tabiiy gazdan suyuq uglevodorod

aralashmalari olish texnologiyalari bo'yicha faol ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ushbu izlanishlarning ilmiy va amaliy ahamiyati shundan iboratki, yaqin 10–15 yil ichida global neft narxining oshishi natijasida mazkur mahsulotlar motor yoqilg'ilari bilan iqtisodiy jihatdan tenglashishi ehtimoli mavjud. Masalan, 1999-yilda ushbu yoqilg'i turi bo'yicha dunyo ishlab chiqarish hajmi atigi 700 ming tonnani tashkil etgan bo'lsa, avtomobil benzini ishlab chiqarish hajmi 800 million tonna, dizel yoqilg'isi esa 300 million tonnaga teng bo'lgan. So'nggi yillarda yaratilgan va amaliyotga joriy etilayotgan yangi texnologik loyihalar esa bu ko'rsatkichni 17 million tonnagacha oshirish imkonini bermiqda.

Mazkur yo'nalishda Shell, ExxonMobil, Syntroleum, Conoco va Sasol kabi yirik kompaniyalar yetakchilik qilmoqda. Ushbu korxonalarning ishlab chiqarish quvvati 3,5 ming tondan 600 ming tonnagacha yetadi. Biroq bu sohada real raqobatning yuzaga kelishi ikki omilga bog'liq: mahsulotning arzon tannarx bilan ishlab chiqarilishi yoki maksimal ekologik va energiya samaradorligining ta'minlanishi.

Moliyalashtirish va muammolar. Mazkur yo'nalishdagi loyihalarni amaliyotga joriy etishda asosiy to'siq — bu yuqori moliyaviy tavakkalchiliklar va katta sarmoyalarni talab qilishi bilan bog'liq. Loyihaning muvaffaqiyati ko'p jihatdan global neft narxining barqarorligiga bevosita bog'liq bo'ladi. Tahlillarga ko'ra, suyuq uglevodorod aralashmasini tijorat miqyosida keng joriy etishning ehtimoliy boshlanish nuqtasi — sun'iy neft narxining \$100–120/tonna chegarasiga yetishidir. Bu esa Brent markasidagi neft narxlariga bilan tenglashgan holatda yuzaga kelishi mumkin.

DME sintezi va sanoat texnologiyasi. Dimetil efir (DME)ni sanoat miqyosida sintez qilish jarayonining asosi metanolning degidratsiya (suvdan ajratish) reaksiyasidir. Bu reaksiya ekzotermik xususiyatga ega bo'lib, energetik jihatdan foydali, nisbatan sodda va ixcham texnologik yechimlar asosida amalga oshirilishi mumkin. Ayniqsa, kichik quvvatli, kapital sig'imi past bo'lgan sanoat ob'ektlari uchun ushbu usul samarali hisoblanadi.

Texnologik jarayon odatda 1,0 MPa bosim ostida va 290–400°C haroratda adiabatik reaktorda olib boriladi. Jarayonda alyuminiy oksidi asosidagi katalizatorlardan foydalaniladi. Bir martalik

konversiya natijasida metanolning taxminan 80% DMEga aylantiriladi.

Biroq, DME ni katta hajmda sanoat miqyosida ishlab chiqarishda mazkur texnologiya iqtisodiy jihatdan maqbul emas. Sababi — metanolni avval sintez qilish, soʻngra uni DMEga aylantirish bosqichida hosil boʻlgan mahsulotning tannarxi metanol narxidan qariyb ikki barobar yuqori boʻladi. Shunday boʻlsada, har qanday ishlab chiqarish senariysida DME olish jarayonida u muqarrar tarzda metanol sintezi bosqichidan oʻtadi. Shu sababli, tabiiy gazdan DME ishlab chiqarishga oid barcha texnologik takliflar mohiyatan metanol ishlab chiqarish liniyasini kengaytirish yoki modifikatsiyalash bilan bogʻliq [14].

DME sintezi texnologik jarayoni quyidagi asosiy bosqichlarni oʻz ichiga oladi: Tabiiy gazni dimetil efirga (DME) aylantirish texnologiyasi bir nechta bosqichlardan iborat boʻlib, ulardan eng muhimlaridan biri — sintez-gaz olish (riforing) jarayonidir. Ushbu bosqichda tabiiy gazdan vodorod va karbonat ангидрид aralashmasi olinadi. Amaliy hisob-kitoblarga koʻra, umumiy texnologik xarajatlarning qariyb 79% aynan shu jarayonga toʻgʻri keladi.

Keyingi bosqichda sintez-gazdan metanol va DME aralashmasini olish amalga oshiriladi. Katalitik sharoitda olib boriladigan mazkur jarayon texnologik xarajatlarning 20–25% ni tashkil etadi. Shundan soʻng, ajratish bosqichida yakuniy mahsulotlar — metanol va dimetil efir — ajratib olinadi, tozalanadi hamda saqlash yoki tashishga tayyorlanadi.

Shu tartibda, DME ishlab chiqarish texnologiyasi faqat energetik va kimyoviy talablar bilan chegaralanmay, balki iqtisodiy samaradorlik mezonlari asosida ham baholanishi lozim boʻlgan murakkab jarayon sifatida qaraladi. Shu sababdan, yirik hajmdagi ishlab chiqarishda metanolni avval sintez qilish va keyinchalik DMEga aylantirish oʻrniga, toʻgʻridan-toʻgʻri DME sintezini taʼminlaydigan innovatsion yondashuvlar ishlab chiqilmoqda.

Bugungi kunda koʻplab xorijiy mamlakatlarda, jumladan MDH davlatlarida ham tabiiy gazdan DME ishlab chiqarish boʻyicha faol ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu izlanishlarning markazida sintez-gaz asosida DME olishga moʻljallangan yangi avlod katalizatorlarini yaratish

masalasi turadi. Misol uchun, Rossiyada faoliyat yurituvchi L.Y. Karpov nomidagi Davlat ilmiy markazi qoshidagi Formatseptika ilmiy-tadqiqot kimyo institutida texnologik jarayonlarni model-lashtirish va ishlab chiqarish uskunalari konstruktiv takomillashtirish boʻyicha qator muhim loyihalar amalga oshirilmoqda.

Tadqiqotchilarning taʼkidlashicha, tabiiy gazni dimetil efirga (DME) aylantirishning eng muhim bosqichlaridan biri — metanni sintez-gazga konversiya qilish jarayonidir. Shu bois, bugungi kunda ilmiy izlanishlar amaldagi usullarga nisbatan yanada arzon, tejamkor va yuqori samaradorlikka ega boʻlgan sintez-gaz olish texnologiyalarini ishlab chiqishga qaratilgan.

Mazkur yoʻnalishda ilgʻor yechimlardan biri sifatida Rossiyaning GIAP ilmiy muassasasi hamda Germaniyaning Linde kompaniyasi hamkorligida ishlab chiqilgan “Tandem” texnologiyasini keltirish mumkin. Ushbu texnologiya quvvurli reaktorlarda tabiiy gazni bugʻ va kislorod yordamida ikki bosqichli konversiyadan oʻtkazish orqali metanol olish imkonini beradi. Sanoat miqyosida bu usul Belorussiyadagi “Azot” ishlab chiqarish birlashmasida amaliyotga joriy etilgan boʻlib, uning yillik ishlab chiqarish quvvati 130 million m³ tabiiy gazni qayta ishlashga teng. Bundan tashqari, Estoniyada joylashgan “Nitrofert” AJ tomonidan amalga oshirilgan loyiha yiliga 400 million m³ gazni qayta ishlash imkoniyatiga ega.

“Tandem” texnologiyasi anʼanaviy — yaʼni shaxtali reaktorlarda bugʻli konversiya asosida olib boriladigan jarayonlarga nisbatan bir qator ustunliklarga ega. Avvalo, uning autotermik xarakteri va yopiq energetik sikli mavjudligi tufayli energiya tejamkorligi taʼminlanadi. Masalan, 1 tonna metanol ishlab chiqarishda tabiiy gaz energiyasining 85% gacha samarali foydalaniladi, qolgan 15% esa (1000 m³ gazdan 150 m³) texnologik jarayonning oʻz energetik ehtiyojlarini qoplash uchun sarflanadi. Shu bois, “Tandem” texnologiyasi resursni tejovchi va yuqori samarali innovatsion yechim sifatida baholanadi.

Bundan tashqari, ushbu texnologiyada atmosferaga chiqariladigan zararli chiqindilar — azot oksidlari (NO_x), uglerod dioksidi (CO₂) va uglerod oksidi (CO) miqdori juda past darajada boʻladi. Yevropa texnologiyalaridan farqli ravishda, sintez-gazni DMEga konversiya qilish jarayoni rekti-

fikatsiya bosqichlarisiz amalga oshirilishi mumkin. Umumiy retsirkulyatsiya sxemasi metanol sintezi uchun mos bo'lib, deyarli o'zgarishsiz qo'llaniladi. Reaktor konstruksiyasi adiabatik qatlamlardan tashkil topgan bo'lsada, metanolni degidratsiya qilishda katalizatorlarning joylashtirilish usuli va hosil bo'lgan mahsulotlarni sovutishda qo'llaniladigan sirkulyatsiya agenti bilan farq qiladi.

Kondensatsiya jarayoni uch bosqichdan iborat: namlik kondensatori, metanol kondensatori va DME kondensatori. Shu yo'l bilan DME metanolning qoldiq zarrachalarsiz olinadi.

Hozirgi kunda "BIITI - Rossiya" instituda hamda I.M. Gubkin nomidagi GNS NIFXI, IVTAN va RGUNG institutlari hamkorligida yiliga 500 ming tonna quvvatga ega DME ishlab chiqarish zavodini yaratish bo'yicha ilmiy-amaliy ishlar olib borilmoqda.

Shuningdek, mazkur texnologiyalar asosida ishlab chiqarish jarayonida atmosferaga chiqariladigan zararli gazlar — xususan, azot oksidlari (NO_x), uglerod dioksidi (CO₂) va uglerod oksidi (CO) miqdorining nihoyatda pastligi ularning ekologik afzalligini yaqqol namoyon etadi.

Yevropada ishlab chiqilgan texnologik yechimlarda sintez-gazdan dimetil efir (DME) olish jarayoni rektifikatsiya bosqichlarisiz amalga oshiriladi. Bunday yondashuvda metanol sintezi uchun mo'ljallangan umumiy retsirkulyatsiya sxemasi deyarli o'zgartirilmagan holda qo'llaniladi. Reaktor konstruksiyasi, odatda, adiabatik qatlamlardan iborat bo'lib, metanol sintezi aynan shu qatlamlarda kechadi. Shu bilan birga, metanolni degidratatsiyalash bosqichida katalizatorlarni joylashtirish usuli hamda hosil bo'lgan mahsulotlarni sovutishda sirkulyatsiya agentlaridan foydalanilishi ma'lum farqlarni yuzaga keltiradi.

Kondensatsiya jarayoni uch bosqichda tashkil etiladi: birinchi bosqichda namlik kondensatori ishlaydi, ikkinchi bosqichda metanol kondensatsiyalanadi, va nihoyat, uchinchi bosqichda DME kondensatsiyasi amalga oshadi. Mazkur kompleks yondashuv natijasida metanol qoldiqlarisiz toza DME mahsulotini olish imkoniyati yaratiladi.

Xulosalar. Metanol kimyo sanoatidagi eng muhim yarim mahsulotlardan biri bo'lib, o'z ahamiyati va ishlab chiqarish masshtabi bo'yicha yetakchi o'rinlardan birini egallaydi. Uning asosiy an'anaviy qo'llanilish yo'nalishlari formaldegid, dimetilteftalat hamda turli xil erituvchilar ishlab chiqarish bilan bog'liqdir.

Xorijiy kompaniyalar, jumladan BP va Marubeni mutaxassislarining baholariga ko'ra, tabiiy gazni konversiya qilish orqali uglevodorodlarning suyuq aralashmasi (SUA) yoki motor yoqilg'isini olishga qaratilgan tijorat texnologiyalarini ishlab chiqish istiqbolli yo'nalish hisoblanadi. Bu borada, xususan, O'zbekistonda ham ishlab chiqarishni to'liq yo'lga qo'yish imkoniyati mavjud. Jumladan, "O'zbekiston GTL" zavodi va "Ustyurt gazni qayta ishlash kompleksi" imkoniyatlaridan samarali foydalanish orqali mazkur mahsulotni yirik miqyosda ishlab chiqarish mumkin.

Bugungi kunda ko'plab mamlakatlarda, shu jumladan xorijiy davlatlarda ham tabiiy gazni suyuq uglevodorod aralashmalariga aylantirishning raqobatbardosh jarayonlarini yaratish bo'yicha jadal ilmiy-texnik izlanishlar olib borilmoqda. Mazkur tadqiqotlar yo'nalishining ilmiy va amaliy ahamiyati shundan iboratki, yaqin 10–15 yil ichida neft narxining oshishi motor yoqilg'isi qiymatiga moslashib qolishi ehtimoli mavjud.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Лapidус А. Л., Крилова А. Е. Механизм образования жидких углеводородов из СО и Н₂ на кобальтовых катализаторах. – М.: Олимп.: 2015. 645 с.
2. Матковский П. Э., Седов И. В., Савченко В. И., Яруллин Р. С. Технологии получения и переработки синтез-газа // Газохимия. 2011, С.77-84.
3. Рачевский Б.С. «Сжиженные углеводородные газы», Москва, Изд-во «Нефть и газ», 2009.- 640 с., ил.
4. Makhmudov, N. N., Shafiev, R. U., Yuldashev, T. R., & Tursunov, M. A. (2015). Technologu of collecting and preparing oil, gas and water in the fields. Textbook. T.: Tashstu.

5. Yuldashev, T. R., & Makhmudov M, J. (2023). Cleaninng of Natural from Sobe Component. Journal of Siberian Federal University. Engineeng & Technologies, 16(3), 296-306.
6. Юлдашев, Т. Р. (2023). ОЧИСТКА ГАЗА ОТ КИСЛЫХ КОМПОНЕНТОВ И ПУТИ ЕЁ РЕШЕНИЙ. Инновационный научно-технический прогресс. Задачи и их решения (стр. 150-155).
7. Юлдашев, Т. Р. (2023). ОСНОВА ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЪЗУЕМОГО В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ ГАЗОАБСОРБЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ. Universum: технические науки, (5-6 (110)), 20-24.
8. Юлдашев, Т. Р. (2023). АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АМИННОЙ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ И ПУТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ. Universum: технические науки, (4-6 (109)), 24-27.
9. Yuldashev, T. R. (2023). TABIIY GAZLARNI VODOROD SULFID VA UGLEROD OKSIDLARIDAN TOZALASHDA QO'LLANILADIGAN ABSORBENTLAR. Sanoatda raqamli texnologiyalar/Цифровые технологии в промышленности, 1(1), 92-99.
10. Yuldashev, T. R. (2023). TABIIY GAZNI NORDON KOMPONENTLARDAN TOZALASHDA SELEKTIVLIGI YUQORI BO'LGAN AMINLI ERITMALARDAN FOYDALANISHNING SAMARADORLIGI. Sanoatda raqamli texnologiyalar/Цифровые технологии в промышленности, 1(1), 86-92.
11. Юлдашев, Т. Р. (2022). АБСОРБЕНТЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ ОТ H₂S И CO₂. THEORY AND ANALYTICAL ASPECTS OF RECENT RESEARCH, 1(10), 72-74.
12. Юлдашев, Т. Р. (2022). ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТ КИСЛЫХ КОМПОНЕНТОВ. MODELS AND METHODS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF INNOVATIVE RESEARCH, 2(18), 62-64.
13. Юлдашев, Т. Р., & Адизов, Б. З. ЭФФЕКТИВНЫЕ АСПЕКТЫ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ООО «МУБАРЕКСКОГО ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА». ҚарДУ ХАБ, 76.
14. Yuldashev, T. R., Eshniyozov, A. D., & Jabborov, N. X. R. (2025). TABIIY GAZNI NORDON KOMPONENTLARDAN TOZALASH QURILMALARIDA KO'PIK HOSIL BO'LISHINING MUAMMOLARI. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 3(2).

UO‘K: 691.215:691.175:678.742

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.19

ASFALTOBETON QOPLAMALARI UCHUN REZINA KUKUNI VA ELASTOMERLARNI MODIFIKATSIYALASH ASOSIDA POLIMER-BITUM KOMPOZITSIYALARINI OLISH



**G'aybullayeva Anora
Fayzullayevna**

Assistant, Buxoro davlat texnika
universiteti, Buxoro, O'zbekiston
E-mail:
gaybullayevaanora@gmail.com
ORCID ID: 0009-0009-1762-7368



**Mavlonov Shohrux
Boboxon o'g'li**

PhD, dotsent, Buxoro davlat texnika
universiteti, Buxoro, O'zbekiston
E-mail: shoxrux-mavlonov@mail.ru
ORCID ID: 0009-0009-1652-6369



Mavlonov Babaxan

k.f.n., dotsent, Buxoro davlat
texnika universiteti,
Buxoro, O'zbekiston
E-mail: b.mavlonov@mail.ru
ORCID ID: 0009-0009-1845-9845

Annotatsiya. Ushbu maqolada asfaltobeton qoplamalari uchun polimer-bitum kompozitsiyalarini yaratish jarayoni yoritilgan. Mahalliy bitumlar rezina kukuni, elastomerlar va antioksidantlar yordamida modifikatsiyalandi hamda ularning fizik-mexanik va reologik xossalari tadqiq qilindi. Tajribalar natijasida penetratsiya ko'rsatkichi 74-0,1 mm dan 59-0,1 mm gacha kamaygani, yumshash harorati 52 °C dan 70 °C gacha ortgani, mo'rtlik harorati –16 °C dan –24 °C gacha pasaygani, cho'zilish darajasi 45 sm dan 68 sm gacha oshgani va elastiklik ko'rsatkichi 62 % dan 81 % gacha yaxshilangani aniqlandi. Natijalar modifikatsiyalangan polimer-bitum kompozitsiyalari oddiy bitumlarga nisbatan yuqori chidamlilik va uzoq xizmat muddatiga ega ekanini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: Asfaltobeton, polimer-bitum kompozitsiyasi, rezina kukuni, elastomer, antioksidant, penetratsiya, yumshash harorati, mo'rtlik harorati, cho'zilish, elastiklik.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕР-БИТУМНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ МОДИФИКАЦИИ РЕЗИНОВОЙ КРОШКОЙ И ЭЛАСТОМЕРАМИ ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

**Гайбуллаева Анора
Файзуллаевна**

Ассистент, Бухарский
государственный технический
университет,
Бухара, Узбекистан

**Мавлонов Шохрух
Бобохон угли**

PhD, доцент, Бухарский
государственный технический
университет,
Бухара, Узбекистан

Мавлонов Бабахан

к.х.н., доцент, Бухарский
государственный технический
университет,
Бухара, Узбекистан

Аннотация. В данной статье рассматривается процесс получения полимерно-битумных композиций для асфальтобетонных покрытий. Местные битумы были модифицированы с использованием резиновой крошки, эластомеров и антиоксидантов, а также исследованы их физико-механические и реологические свойства. Экспериментальные результаты показали, что показатель пенетрации снизился с 74-0,1 мм до 59-0,1 мм, температура размягчения увеличилась с 52 °C до 70 °C, температура хрупкости снизилась с –16 °C до –24 °C, степень удлинения при 25 °C возросла с 45 см до 68 см, а показатель эластичности увеличился с 62 % до 81 %. Полученные результаты подтверждают, что модифицированные полимерно-битумные композиции обла -

дают более высокой прочностью и долговечностью по сравнению с традиционными битумами.
Ключевые слова: асфальтобетон, полимер-битумная композиция, резиновая крошка, эластомер, антиоксидант, пенетрация, температура размягчения, температура хрупкости, удлинение, эластичность.

DEVELOPMENT OF POLYMER-BITUMEN COMPOSITIONS BASED ON MODIFICATION WITH RUBBER POWDER AND ELASTOMERS FOR ASPHALT PAVEMENTS

**Gaybullayeva Anora
Fayzullayevna**

Assistant, Bukhara State Technical
University, Bukhara, Uzbekistan

**Mavlonov Shohrukh
Bobokhon ugli**

PhD, Associate Professor, Bukhara
State Technical University,
Bukhara, Uzbekistan

Mavlonov Babakhan

PhD, Associate Professor, Bukhara
State Technical University,
Bukhara, Uzbekistan

Abstract. This article discusses the development of polymer-bitumen compositions for asphalt pavements. Local bitumen was modified using rubber powder, elastomers, and antioxidants, and their physicomechanical and rheological properties were investigated. Experimental results showed that the penetration index decreased from 74·0.1 mm to 59·0.1 mm, the softening point increased from 52 °C to 70 °C, the brittleness temperature decreased from –16 °C to –24 °C, the elongation at 25 °C increased from 45 cm to 68 cm, and the elasticity index increased from 62% to 81%. These findings demonstrate that modified polymer-bitumen compositions exhibit higher strength, durability, and resistance to environmental impacts compared to conventional bitumen.

Keywords: asphalt concrete, polymer-bitumen composition, rubber powder, elastomer, antioxidant, penetration, softening point, brittleness temperature, elongation, elasticity.

Kirish. Bitum — neftni qayta ishlash mahsuloti bo‘lib, uning asosiy qo‘llanilish sohasi avtomobil yo‘llarini qurish va ta‘mirlash, gidroizolyatsiya ishlari hamda sanoatning turli tarmoqlarida mustahkamlovchi bog‘lovchi material sifatida ishlatiladi. Biroq oddiy bitumlarning fizik-mexanik xossalari cheklangan: past haroratlarda mo‘rtlanib sinuvchan bo‘lishi, yuqori haroratlarda esa yumshab ketishi, shuningdek, namlik va ultrabinafsha nurlarga nisbatan chidamsizligi ularning ekspluatatsion muddati va sifatini pasaytiradi [1]. Shu bois bitumlarni modifikatsiyalash jarayoni — ya‘ni, ularga turli polimerlar, elastomerlar, plastifikatorlar yoki sirtfaol moddalar qo‘shish orqali tarkibini yaxshilash — zamonaviy yo‘l qurilishi va gidroizolyatsiya sanoatida muhim ilmiy-amaliy yo‘nalishga aylangan [2].

Modifikatsiyalashning asosiy maqsadi bitumlarning ishlash harorati diapazonini kengaytirishdir. Bunday holda, bitum yuqori haroratlarda o‘z shaklini yo‘qotmaydi, past haroratlarda esa mo‘rtlanmaydi. Natijada modifikatsiyalangan bitumlar

yuqori elastiklikka ega bo‘lib, issiq va sovuq iqlim sharoitida yuzaga keladigan siklik yuklamalarga bardosh beradi. Bundan tashqari, ularning yopishuvchanlik xususiyati kuchayib, tosh materiallarga bog‘lanish sifati yaxshilanadi. Bu esa asfальтобетон qoplamalarning mustahkamligi va xizmat muddatini sezilarli darajada oshiradi [3].

Materiallar va usullar. O‘zbekiston Respublikasi hududida iqlim keskin kontinental xarakterga ega: yozda havo harorati +40 °C dan yuqorilaydi, qishda esa –15 °C gacha pasayadi [4]. Bunday sharoitlarda asfalt qoplamalarga bo‘lgan talablar yuqori bo‘lib, ular yuqori haroratlarda shaklini saqlab qolishi, past haroratlarda esa yorilmasligi zarur [5]. Shu sababli, yo‘l-qurilish sanoatida qo‘llaniladigan bitumlar GOST 22245-90 yoki GOST 33133-2014 standartlari talablariga mos holda tanlanadi. Amaliyotda, odatda, BND 60/90 yoki BND 70/100 markali yo‘l bitumlaridan foydalaniladi. Ushbu markalar plastiklik darajasi, penetratsiya ko‘rsatkichlari va haroratga chidamliligi bilan mo‘tadil iqlim sharoitlari uchun maqbul sanaladi.

Biroq, mazkur markali bitumlarning modifikatsiyalanmagan holatda O'zbekistonning keskin issiq va sovuq mavsumlarida barqaror ishlash xususiyati yetarli emas. Shu bois ularni polimer va barqarorlashtiruvchi qo'shimchalar yordamida modifikatsiyalash maqsadga muvofiq hisoblanadi [6]. Mazkur tadqiqotlarda FNQIZ zavodida ishlab chiqarilgan, GOST 33133-2014 talablariga mos 50/70 markali bitumdan foydalanildi.

1-jadval

**Polimer-bitum kompozitsiyalarini olish uchun
qo'llanilgan 50/70 markali bitumning fizik-
mexanik ko'rsatkichlar**

Ko'rsatkichlar nomi	50/70 bitum markasi uchun me'yor	
	Asosiy talablar	Amalda
25 °C haroratda (ignaning botish chuqurligi x 0,1 mm) penetratsiya	51-70	54
Halqa va shar bo'yicha yumshatish harorati, °C	51 past emas	53
25 °C haroratda, cho'zilishi, cm	15 kamida	12
25 °C haroratda, elastiklikligi %	60 kamida	58
Fraasu bo'yicha mo'rtlik harorati, °C	-16 yuqori emas	-16
Chaqnash harorati, °C	230 past emas	237
Dinamik qovushqoqlik, Pa·s, 135 °C haroratda	Ko'pi bilan 3	3

Ilmiy-tadqiqot ishining muhim bosqichlaridan biri bu – rezina saqlagan gibrid elastomerlar asosida turli tarkibga ega polimer-bitum kompozitsiyalarini tayyorlash va ularning fizik-mexanik xossalarini solishtirishdan iboratdir. Ushbu bosqichda maqsad – optimal modifikatsiyalangan bitum tarkibini aniqlash va uning struktura hosil qiluvchi xususiyatlarini amaliy jihatdan baholashdan iborat bo'ldi.

Natijalar va ularning muhokamasi. Tajribalar uchun asosiy komponent sifatida yo'l bitumi (BND 50/70 markali), maydalangan chiqindi avtomobil shinalaridan olingan rezina kukuni (butadien-stirol kauchuk, butadien kauchuk, butil kauchuk va texnik uglerod), termoplast elastomerlar (stirol-butadien-stirol (SBS) va polistirol), plastifikator (neft shlamlari) hamda stabilizatorlar — tetraetoksisilan (TEOS), kaolin ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), tiuram (tetrametiltiuramsulfid) va simat (ditio-

karbamat) tanlab olindi.

Tajriba jarayoni ikki bosqichda amalga oshirildi:

1. Birinchi bosqichda bitum 160–180 °C haroratda eritildi va unga rezina kukuni qo'shib, 1,5–2,5 soat davomida mexanik aralashtirildi. Rezina kukuni bitum tarkibida shishib, dispers holatga kelguncha jarayon davom ettirildi.

2. Ikkinchi bosqichda esa oldindan tayyorlangan bitum–rezina tarkibiga SBS, polistirol, antioksidantlar va plastifikatorlar qo'shildi. Aralashtirish 180 °C da 30–120 daqiqa davom ettirilib, natijada rezina saqlagan gibrid elastomer asosidagi polimer-bitum kompozitsiyalari olindi.

2-jadval

**Rezina saqlagan gibrid elastomerlar asosida
polimer-kompozitsiyalarining tarkibi**

№	Bitum %	Rezina kukuni %	Termoplastik elastomer (polimerlar) %	Stabilizator %	Plasifikator %
RSGEPB-1	85,	5,0	6,0	2,5	1,5
RSGEPB-2	84,0	6,0	5,0	2,5	2,0
RSGEPB-3	82,5	8,0	4,0	3,0	2,5
RSGEPB-4	81,0	10,0	3,0	3,0	3,0

Rezina kukuni va gibrid termoplastik elastomerlar asosida modifikatsiyalangan polimer-bitum bog'lovchilarning kompozitsion tarkibi BND 50/70 markali yo'l bitumi asosida tayyorlangan to'rtta polimer-bitum kompozitsiyasi orqali sinovdan o'tkazildi. Modifikatsiyalash jarayonida asosiy komponent sifatida granulometrik tarkibi 3–5 mm bo'lgan qayta ishlangan avtomobil shinalaridan olingan rezina kukuni, termoplastik elastomerlar (SBS va polistirol), stabilizatorlar (tetraetoksisilan – TEOS, kaolin – $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, tiuram – tetrametiltiuramsulfid, simat – ditio-karbamat birikmalari) hamda plastifikatorlar (neftni qayta ishlash chiqindilaridan olingan mahsulotlar) qo'llanildi.

Kompozitsion tarkibda bitum ulushi 85,0% dan 81,0% gacha, rezina kukuni miqdori esa 5,0% dan 10,0% gacha oshirildi. Elastomerlarning umumiy ulushi 6,0% dan 3,0% gacha kamaytirildi, bu esa kauchuk komponentining elastiklikka qo'shgan hissasi hisobga olinib, optimal muvozanatga erishishni ta'minladi. Stabilizatorlar 2,5–3,0% oralig'ida qo'shib, issiqlik va oksidlovchi qarish ta'siriga nisbatan kompozitsiyaning kimyoviy hamda termik barqarorligini oshirdi. Plastifikatorlar esa 1,5–3,0% miqdorda kiritilib, aralashmaning past

haroratlarda ishlash qobiliyati va texnologik oqimlilik xususiyatlarini yaxshiladi.

Rezina kukuni saqlagan gibrid elastomerlar asosida tayyorlangan polimer-bitum kompozitsiyalarining asosiy fizik-kimyoviy hamda reologik xossalari aniqlanib, ularning penetratsiya, yumshash harorati, mo'rtlashish harorati, cho'zilish, elastiklik va dinamik qovushqoqlik ko'rsatkichlari 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval

Rezina kukuni va gibrid termoplastik elastomerlar asosida tayyorlangan polimer-bitum kompozitsiyalarining fizik-mexanik va reologik ko'rsatkichlari

Ko'rsatkichlar nomi	RSGEPB-2	RSGEPB-2	RSGEPB-3	RSGEPB-4
25 °C haroratda ignaning botish chuqurligi x 0,1 mm	74	69	66	59
Halqa va shar bo'yicha yumshatish harorati, °C,	52	58	64	70
Fraasu bo'yicha mo'rtlik harorati, °C	-16	-19	-21	-24
25 °C cho'zilishi, sm	45	51	59	68
Dinamik qovushqoqligi, Ra·s, 135 °C	0.85	1.00	1.30	1.60
25 °C haroratda, elastikligi %,	62	68	75	81

Ushbu tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, polimer-modifikatsiyalangan bitum kompozitsiyalarining asosiy fizik-mexanik va reologik xossalari ularning tarkibiy komponentlari nisbatiga sezilarli darajada bog'liqdir. Penetratsiya ko'rsatkichining

74-0.1 mm dan 59-0.1 mm gacha kamayishi bitum matritsasining zichligi va mexanik qattiqligining ortishini ifodalaydi. Halqa va shar usuli bilan aniqlangan yumshash haroratining 52 °C dan 70 °C gacha ko'tarilishi esa yuqori haroratlarda materialning strukturaviy barqarorligi oshganidan dalolat beradi. Fraasu usuli bo'yicha aniqlangan mo'rtlashish haroratining -16 °C dan -24 °C gacha pasayishi esa kompozitsiyaning past haroratlarda elastiklikni saqlab qolish qobiliyati yaxshilanganini ko'rsatadi.

Shuningdek, 25 °C da cho'zilish darajasining 45 sm dan 68 sm gacha ortishi va elastiklik ko'rsatkichining 62% dan 81% gacha ko'tarilishi makromolekulyar struktura tarkibida deformatsiyaga bardoshli elastik fazaning shakllanganligidan dalolat beradi. Bundan tashqari, 135 °C da dinamik qovushqoqlikning 0.85 Pa·s dan 1.60 Pa·s gacha oshishi bitumning yuqori haroratlarda oqimga qarshilik ko'rsatish xususiyatining sezilarli darajada kuchayganini tasdiqlaydi.

Xulosalar. Shunday qilib, komponentlar miqdoridagi o'zgarishlar barcha asosiy ko'rsatkichlarga sezilarli ta'sir ko'rsatdi. Xususan, penetratsiya va mo'rtlashish harorati pasaydi, biroq yumshash harorati, cho'zilish darajasi, qovushqoqlik va elastiklik kabi parametrlar ortdi. Bu natijalar modifikatsiyalangan polimer-bitum kompozitsiyalarining mustahkamlik, issiqlik va sovuqqa chidamlilik, egiluvchanlik hamda xizmat muddatini oshirishda an'anaviy bitumlarga nisbatan sezilarli ustunlikka ega ekanligini ilmiy asosda tasdiqlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Печёный, Б. Г., Данильян, Е. А., & Гальдина, В. Д. (2009). Влияние режимов приготовления асфальтобетонных смесей на свойства асфальтобетонов. Строительные материалы.
2. Соломенцев, А. Б. (2008). Классификация и номенклатура модифицирующих добавок для битума. Наука и техника в дорожной отрасли, (1), 14–16.
3. G'aybullayeva, A. F., & Mavlonov, Sh. B. (2024). Polimer-bitum materiallarini olishda qo'shimcha va modifikatorlarning tasniflari. In Neft va gaz sanoatining dolzarb muammolari va istiqbollari (Xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya). Buxoro.
4. G'aybullayeva, A. F., Mavlonov, Sh. B., & Mavlonov, B. A. (2025). Organik bog'lovchilar asosida rezina saqlagan polimer-bitum kompozitsiyalari olish texnologiyasi. Development of Science, 5(6). <https://doi.org/ISSN3030-3907>
5. G'aybullayeva, A. F., Mavlonov, Sh. B., & Mavlonov, B. A. (2025). O'zbekiston iqlim sharoitida asfaltbeton qoplamalarini olish uchun polimer-bitumlarning ahamiyati. In Neft va gaz sohasida kadrlar tayyorlash sifatini oshirishda ta'lim va ishlab chiqarish klasterining ahamiyati (Respublika ilmiy-amaliy anjumani, pp. 386–388). Qarshi.

UO‘K: 553.98:551.782(575.1)

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.10

MARKAZIY QIZILQUMDAGI KARAKATA BOTIQLIGIDAGI QUYI EOTSEN YOTQIZIQLARINI MADANDORLIGI VA ULARNI JOYLASHISH SHAROITLARI



**Razikov Odiljon
Toxirjonovich**

Geologiya-mineralogiya fanlari
doktori, professor v.b., Mirzo
Ulug'bek nomidagi O'zbekiston
milliy universiteti,
Toshkent, O'zbekiston
E-mail: odil.t.razikov@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-2808-6566



**Nurtayev Burxon
Ximailovich**

O'zbekiston Respublikasi Fanlar
akademiyasi Navoiy bo'limi kichik
ilmiy xodimi, Navoiy, O'zbekiston
E-mail:
nurtayevburxon@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-3561-8850



**Nazarov Uzrukh
Xasanovich**

O'zbekiston Respublikasi Fanlar
akademiyasi Navoiy bo'limi
tayanch doktoranti,
Navoiy, O'zbekiston
E-mail: nazarovuzrukh@gmail.com
ORCID ID: 0009-0002-5877-4984

Annotatsiya. Ushbu maqolada yonuvchi slaneslarning global va mintaqaviy ahamiyati, ayniqsa O'zbekiston Respublikasi hududidagi quyi eotsen yotqiziqlaridagi resurslar ko'rib chiqilgan. Energiya iste'molining ortib borishi va an'anaviy yoqilg'i zaxiralarining kamayishi sharoitida yonuvchi slanes muqobil energiya manbasi sifatida alohida o'rin egallaydi. Markaziy Qizilqumdagi Sangruntau va Aktau konlarida olib borilgan geologik-tadqiqot ishlari, slaneslarning tarkibi, energiya va kimyo sanoatidagi ahamiyati, shuningdek ularning metall-organik birikmalari (U, Mo, V, Re va b.) bilan boyligi asoslab berilgan. Maqolada yonuvchi slaneslarning qayta ishlash texnologiyalari, iqtisodiy istiqbollari va ularni kompleks o'zlashtirish imkoniyatlari muhokama qilinadi. Xulosa qilib, yonuvchi slaneslar – kelajakdagi muhim yoqilg'i va xomashyo resursi sifatida baholanadi.

Kalit so'zlar: yonuvchi slanes, yoqilg'i, muqobil energiya, global zaxiralar, slanes smolasi, madandorlik, yotish sharoitlari.

ОБОГАЩЕННОСТЬ ПОЛЕЗНЫМИ ИСКОПАЕМЫМИ И УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ НИЖНЕЭОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАРАКАТИНСКОЙ ВПАДИНЫ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ КЫЗЫЛКУМАХ

**Разиков Одилжон
Тохириджонович**

И.о. доктора геолого-
минералогических наук,
профессора, Национальный
университет Узбекистана имени
Мирзо Улугбека,
Ташкент, Узбекистан

**Нуртаев Бурхон
Химайлович**

Младшего научного сотрудника
Навоийского отделения
Академии наук Республики
Узбекистан, Навои, Узбекистан

**Назаров Узрух
Хасанович**

Базовый докторант Навоийского
отделения Академии наук
Республики Узбекистан,
Навои, Узбекистан

Аннотация. В данной статье рассматривается глобальное и региональное значение горючих сланцев, в частности ресурсы нижнеэоценовых отложений на территории Республики Узбекистан. На фоне растущего мирового потребления энергии и сокращения запасов традиционных видов топлива, горючие сланцы играют значительную роль в качестве одного из

альтернативных источников энергии. Представлены данные геологоразведки месторождений Сангрунтау и Актау, расположенных в Центральных Кызылкумах. Описан состав горючих сланцев и рассмотрено их значение для энергетического сектора и химической промышленности, а также богатство металл-органическими соединениями (U, Mo, V, Re и др.). В статье обсуждаются технологии переработки горючих сланцев, экономические перспективы и возможности их комплексного освоения. В заключение отмечается, что горючие сланцы оцениваются как важный источник топлива и сырья будущего.

Ключевые слова: горючие сланцы, топливо, альтернативная энергия, глобальные запасы, сланцевая смола, рудоносность, условия залегания.

ENRICHMENT WITH MINERAL RESOURCES AND OCCURRENCE CONDITIONS OF THE LOWER EOCENE DEPOSITS OF THE KARAKATIN DEPRESSION IN THE CENTRAL KYZYLKUM

**Razikov Odiljon
Tokhirjonovich**

*Acting Doctor of Geological and
Mineralogical Sciences, Professor,
Mirzo Ulugbek National University
of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan*

**Nurtayev Burkxon
Khimailovich**

*Junior Research Fellow of the
Navoi Branch of the Academy of
Sciences of the Republic of
Uzbekistan, Navoi, Uzbekistan*

**Nazarov Uzrukh
Khasanovich**

*Basic doctoral student of the Navoi
Branch of the Academy of Sciences
of the Republic of Uzbekistan,
Navoi, Uzbekistan*

Abstract. This article examines the global and regional significance of oil shales, particularly the resources found in the Lower Eocene deposits within the territory of the Republic of Uzbekistan. Against the backdrop of growing global energy consumption and declining reserves of traditional fuel sources, oil shales hold a special position as an alternative energy source. The results of geological exploration at the Sangruntau and Aktau deposits in the Central Kyzylkum region are presented, highlighting the composition of the shales, their importance for the energy and chemical industries, and their richness in metal-organic compounds (U, Mo, V, Re, etc.). The article discusses oil shale processing technologies, economic prospects, and the potential for their integrated development. It concludes that oil shales are considered a vital source of fuel and raw materials for the future.

Keywords: oil shale, fuel, alternative energy, global reserves, shale resin, ore-bearing capacity, occurrence conditions.

Kirish. Hozirgi kunda dunyo bo'yicha yillik energiya iste'moli 10 milliard tonnadan ortiq yoqilg'i ekvivalentiga yetishi taxmin qilinmoqda. Energiya sarfining doimiy ortib borishi, eng avvalo, an'anaviy energiya manbalari - uglevodorodlar (neft, gaz, ko'mir, torf, yonuvchi slanes va boshqalar) zaxiralarining kamayishiga olib kelmoqda, shu jumladan atom energiyasi (uran, toriy, gafniy va boshqalar), daryo suvlarini, umuman suvlarni kamaiishi gidroyenergetika manbalarining energiya olish zaxiralari kamayishiga olib kelmoqda.

So'nggi vaqtlarda yoqilg'i-energetikasiga talab yuqori bo'lgan mamlakatlar va mintaqalar uchun yoqilg'i manbalariga bo'lgan ehtiyojining keskin ortishi va muqobil xomashyo manbalarini qidirish dolzarb bo'lib bormoqda. Bu muammolarni hal etishda ayniqsa yonuvchi slaneslar muhim

ahamiyatga ega.

Chunki ular ulkan resurslarga (47 milliard tonna) ega va kimyoviy tarkibi tufayli muqobil energiya manbalaridan biri hisoblanadi. Ushbu jinslar energiya uchun ham, turli xil kimyoviy mahsulotlarni ishlab chiqarish uchun ham neft o'rnini bosuvchi vosita bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Ba'zi ma'lumotlarga ko'ra, Yer yuzidagi organik uglerod zaxiralari quyidagicha taqsimlangan: neftda - 1011 tonna, ko'mirda - 1013 tonna, yonuvchi slaneslarda esa - 1017 tonnaga yetadi. Bugungi kunda dunyo bo'yicha 550 dan ortiq yonuvchi slanes koni aniqlangan bo'lib, ular har xil geologik tuzilmalarda - burmalangan zonalarda, qadimiy va yosh platformalarda joylashgan. Yer yuzidagi eng yirik yonuvchi slanes koni AQShdagi

Greyen River bo‘lib, u global zaxiralarning qariyb 60 foizini tashkil etadi. Umuman olganda, ko‘plab yonuvchi slaneslar termik qayta ishlenganda oz miqdorda smola ajratib chiqarishi bilan ajralib turadi [1].

Biroq, rivojlanish tajribasi va yillar davomida to‘plangan ma‘lumotlar shuni ko‘rsatadiki, hatto smola chiqishi atigi 4–8% bo‘lgan past sifatli yonuvchi slaneslarni qayta ishlash ham texnik va iqtisodiy nuqtai nazardan muhim ahamiyatga ega. Dunyodagi eng sifatli yonuvchi slaneslar sifatida Boltiqbo‘yi havzasidagi konlar e‘tirof etiladi – bu yerda slaneslar 21–24% smola chiqishi bilan ajralib turadi. Mazkur konlarda qazib olish ishlari deyarli bir asrdan beri davom etmoqda. Ba‘zi konlarning yonuvchi slaneslari yuqori Cu, Mo, U, Pb, Zn, V tarkibiga ega va ma‘dan xomashyosi sifatida baholanadi. Shu bilan birga, dunyoning turli hududlarida yonuvchi slaneslardan smola olish imkoniyati, muqobil energiya manbai sifatida, tobora ko‘proq e‘tiborni tortmoqda. Bunga sabab - bir qator davlatlarda energiyaga bo‘lgan talabning ortishi hamda an‘anaviy uglevodorod zaxiralarning kamayib borishi fonida, yonuvchi slaneslarning katta hajmdagi resurslarga ega bo‘lishidir [2].

Yonuvchi slaneslar tarkibida rangli, kam uchraydigan metallar va nodir yer elementlari mavjud bo‘lib, ularni yoqilg‘i-kimyo sanoatida xomashyo sifatida kompleks ravishda ishlatish mumkin. Yoqilg‘i sifatida slaneslar to‘g‘ridan to‘g‘ri yoqilishi yoki termik qayta ishlov orqali slanes moyi ko‘rinishida foydalanilishi mumkin. Bunday qayta ishlash natijasida nafaqat slanes moyi, balki turli xil kimyoviy birikmalar ham olinadi.

Yonuvchi slaneslarning sanoat qiymati ularning organik va mineral tarkibiy qismlari, jumladan, tarkibidagi nodir va tarqoq yer elementlari bilan belgilanadi. Ular asosida quyidagi mahsulotlar ishlab chiqarilishi mumkin:

- yoqilg‘i va energiya vositalari (gaz, slanes moyi, dizel yoqilg‘isi, mazut, benzin, kerosin);
- kimyo sanoati mahsulotlari (benzol, toluol, tiofen, oltingugurt, fenollar, ixtiol va boshqalar);
- kamyob elementlar konsentratlari.

Yonuvchi slaneslarni yoqish natijasida hosil bo‘ladigan kul esa qurilish sanoati uchun - sement, devor bloklari va beton plomba materiallari ishlab chiqarishda arzon xomashyo sifatida ishlatiladi. Shuning uchun yonuvchi slaneslar “kelajak

yoqilg‘isi” deb ataladi, chunki ularning global zaxiralari neft, gaz va ko‘mir kabi an‘anaviy yoqilg‘i resurslariga nisbatan bir necha barobar ko‘proq. Slanes smolasi yaxshi izolyator, korroziyadan “himoya qiluvchi” ba‘zi hollarda yelim va payvandlash o‘rnini ham bosadi. Bundan tashqari, u tuproqning unumdorlashtirish uchun ishlatiladi.

Yonuvchi slanes yoqilg‘i-energetik va kimyoviy xomashyo bo‘lib, uglevodorodli xomashyolarning asosiy manbalaridan biri hisoblanadi. U asosan mineral (kalsit, dolomit, gidroslyuda, montmorillonit, kaolinit, dala shpati, kvars, pirit va boshqalar) va organik qismlardan (kerogen, bitumlar) iborat bo‘lib, jins massasining 10-30% ni tashkil etadi va faqat eng yuqori sifatli slaneslarda 50-70% ga tashkil etishi mumkin. Yonuvchi slaneslar muqobil yoqilg‘i sifatida jahon energiyasining kelajagi bilan bog‘liq, chunki sayyoramizdagi neft va tabiiy gaz zaxiralari asta-sekin kamayib bormoqda.

Turli hisob-kitoblarga ko‘ra, dunyo bo‘ylab yonuvchi slanes konlarida jami 550-630 milliard tonnagacha slanes smolasi zahiralari mavjud. Bu xomashyoning bashorat qilinayotgan resurslari dunyo miqyosida 930 trillion tonnaga baholanadi va ulardan olinadigan slanes smolasi zahiralari esa 53 trillion tonnani tashkil etadi, bu esa dunyodagi uglevodorod zaxiralariidan bir necha barobar ko‘pdir. Bu smoladan gaz, benzin, mazut, shuningdek, neft-kimyo majmuasi uchun keng turdagi mahsulotlar olinadi [3].

O‘zbekiston Respublikasi Markaziy Qizilqum hududida bashorat resurslari 47 milliard tonnaga yaqin bo‘lgan bir nechta yonuvchi slanes konlari ma‘lum, bular Baysun, Sangruntau, Aktau, Jom, Uchqir-Kulbeshkak, O‘rtabuloq.

Adabiyot tahlil va metodlar. O‘zbekistonda yonuvchi slaneslarni o‘rganish ishlari 50-yillarning boshida boshlangan, ammo eng faol davr 1965-1967-yillar bo‘lib, bu davrda A.S. Fedorenko, A.D. Posrednikov, R.I. Nishonxo‘jayev, A.G. Luzanovskiy, V.I. Mixaylov, E.F. Tatsir, A.A. Gamarnik keng qamrovli ishlarni amalga oshirdi. Ushbu ishlar natijasida yonuvchi slaneslarning quyi eotsenning (peritsiz gillar) quyi qatlamlariga bog‘liqligi aniqlangan. Kolonka burg‘ilash usuli bilan va paleogeografik rekonstruksiya asosida ikkita alohida havza ajratib olingan: Qizilqum va Amudaryo-Oldhisor havzalari.

Qizilqum havzasi doirasida birinchi marta Sangruntau va Aktau yonuvchi slanes konlari aniqlangan bo'lib, ularga mualliflar tomonidan zaxiralar hisoblangan. Sangruntau yonuvchi slaneslarida smola miqdori 8-10% ni tashkil qiladi; yonuvchi slaneslar va metallarning zaxiralari hisoblab chiqilgan, bunda metallarning quruq slanesga, slanes kuli-ga va peritga hisoblangan miqdori slanes massa-sining 5-10% ni tashkil etadi; yonuvchi slaneslar molibden, vanadiy, uran, volfram, reniy va boshqa metallarga boy bo'lib, ular organik uglerod tarki-biga bevosita bog'liq ekanligi aniqlangan va bu metallarning yonuvchi slaneslarda metall-organik birikmalar shaklida bo'lishi taxmin qilingan, chunki faqat molibdenning sulfid shakllari molibdenit, ferromolibdit va povellit ko'rinishida aniqlangan.

A.G. Luzanovskiy, I.B. Turamuratov va A.X. Turesebekov tomonidan 2008-yilda yonuvchi slaneslardagi Re (reniy) miqdori bo'yicha taqqos-lash tahlili o'tkazilib, yonuvchi slaneslar tarkibida U (uran) va Re (reniy) bilan bir qatorda "Uchquduq tipidagi" uran konlarida aniqlangan deyarli bir xil nodir elementlar spektri mavjud degan xulosa qilin-gan. 2010-yilda Sangruntau tog'larining janubiy qismida, 15 kv.km (tajriba bloki) maydonda "Qizilqum GQE" tomonidan 38 ta kolonka quduqlari burg'ulangan, yonuvchi slaneslar va bituminli gil qatlamlari bo'yicha laboratoriya tadqiqotlari "Mineral resuslar instituti"da Galoter texnologiyasi bo'yicha, Sankt-Peterburg shahridagi "TTU-LTD" MCHJ tomonidan ishlab chiqarilgan UTT-3000 qurilmasida o'tkazilgan [4].

2011-yilda Sangruntau yonuvchi slanes konini batafsil va dastlabki baholash va uning qanotlarida qidiruv ishlarini olib borish loyihasi doirasida, 2010-yil materiallari asosida Sangruntau konining tajriba blokida yonuvchi slanes zaxira-larini hisoblash uchun dastlabki texnik-iqtisodiy asos (TIA) ishlab chiqildi. 2015-yilda O'zbekiston Respublikasi Davlat zaxiralar komissiyasi tomoni-dan Sangruntau konining shimoliy va janubiy qis-mida faqat yonuvchi slaneslarning zaxiralari tasdiq-landi.

Tadqiqot natijalari va ularning muhokamasi. Bugungi kunda dunyo miqyosida neft va gazdan tashqari muqobil energiya manba-larini izlash va aniqlash yo'nalishida ilmiy izlanish-lar faol olib borilmoqda. Shulardan biri bo'lgan yonuvchi slanes yoqilg'i-energetika sohasida ham-

da kimyo sanoatida xomashyo sifatida muhim ahamiyatga ega bo'lib, u uglevodorod asosi-dagi resurslarning muhim manbalaridan biri hisob-lanadi. Yonuvchi slanes ko'pincha "kelajak yoqil-g'isi" sifatida tilga olinadi, chunki ularning umumiy zaxiralari an'anaviy yonuvchan qazilmalar – neft, tabiiy gaz va ko'mir zaxiralaridan bir necha barobar ko'proq.

Bugungi kunda global energiya iste'moli yiliga 10 milliard tonnadan ortiq shartli yoqilg'iga teng deb baholanmoqda. "Axborot markazi" davlat korxonasi hamda Davlat Geologiya qo'mitasining 2023-yilgi ma'lumotlariga ko'ra, dunyo bo'ylab energiyaga bo'lgan ehtiyojning doimiy ortib bori-shi, eng avvalo, neft va gaz kabi an'anaviy energiya manbalarining zaxiralari kamayib borishiga sabab bo'lmoqda. Muqobil xomashyo manbalarini izlash, ayniqsa, yoqilg'i-energetika balansi izdan chiqqan mamlakatlar va mintaqalar uchun nihoyatda muhim masalalardan biridir. Shu nuqtai nazardan, katta zaxiralarga ega bo'lgan yonuvchi slanes muqobil energiya manbalaridan biri sifatida ajralib turadi. Bu turdagi foydali qazilma nafaqat energiya ishlab chiqarishda, balki turli kimyoviy mahsulotlarni olishda ham neftning o'rnini bosuvchi resurs bo'la oladi [5].

1-jadval

O'zbekiston Respublikasi konlarining davlat balansida hisobga olingan yonuvchi slanes zaxiralarining iqtisodiy ko'rsatkichlari

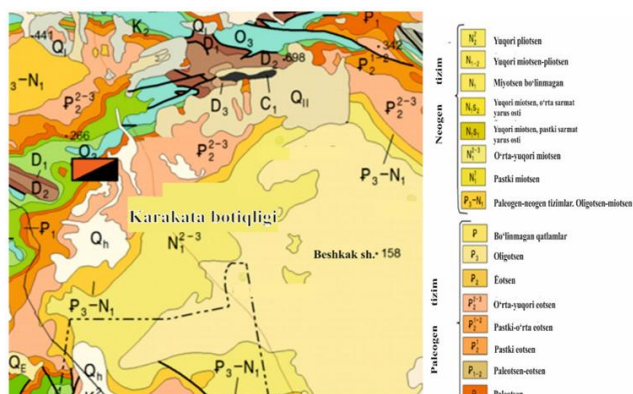
Kon	Kategoriya bo'yicha zaxiralar, ming tonna				
	ming tonna	C ₁	A+B+C ₁	C ₂	Balansda n tashqari
Dehqonobod maydoni (slanes smolasining o'rtacha miqdori – 5,6%)	-	-	-	56.294,6	-
Sangruntau (slanes smolasining o'rtacha miqdori- 5,675%)	84.689	100.608	185.297	230.687	61.283
Aktau (slanes smolasining o'rtacha miqdori – 5,78%)	319.949,8	-	319.949,8	168938,8	61.476,9

Yonuvchi slaneslar qattiq yoqilg'ining eng keng tarqalgan turlaridan biridir. Dunyo yonuvchi slaneslarining aksariyati issiqlik bilan qayta ishlashda kam smola chiqishi bilan tavsiflanadi.

Slanes nefti energetika sohasini yanada rivojlantirish uchun muhim zaxiralardan biri

Kategorie	Počet návštěv [s]
1	5,6
2	5,675
3	5,78

Konlar: 1 – Dehqonobod; 2 – Sangruntau; 3 - Aktau-2



Hozirgi vaqtda slanes nefti ishlab chiqarish texnologiyalari hali bosqichma-bosqich takomillashmoqda. Xomashyo ishlab chiqarish xarajatlari kamayish tendensiyasida bo'lsa-da, ular an'anaviy neft ishlab chiqarish tannarxidan sezilarli darajada yuqoridir. Shu sababli, slanes moyi hozircha kela-jakda istiqbolli resurs sifatida qolmoqda va neft bozorida katta o'zgarishlar yuz berishiga imkon yaratishi mumkin. Slanes gazining qazib olinishi sohasidagi rivojlanish natijasida gaz bozorida yuzaga kelgan "inqilob" kabi neft bozorida bunday keskin o'zgarishlar kutilmayapti. O'zbekiston hududida esa paleogen davriga mansub ikkita

Xulosalar va takliflar. Ko‘plab ilmiy-tadqiqot institutlari sanoatda qimmatli va kam uchraydigan metallarni (masalan, uran, molibden, vanadiy va boshqalar) bir vaqtning o‘zida ajratib olish imkonini beruvchi texnologiyalarni yaratdilar. Iqtisodiy tahlil natijalariga ko‘ra, neft narxining oshishi yonuvchi slaneslarni kompleks tarzda qazib olish va qayta ishlash xarajatlariga katta ta’sir ko‘rsatishi mumkin, ayniqsa, bu jarayonda nodir va kamyob yer elementlari bilan birgalikda uglevodorod xomashyosi sifatida slaneslarning qiymati oshadi.

Baksan konida yonuvchi slaneslardan tashqari, kam uchraydigan metallar — molibden, vanadiy, volfram, selen, ittriy, reniy, shuningdek, radioaktiv elementlar (uran) va rangli metallar (nikel, kobalt, kremniy, kadmiy, rux) ham aniqlangan. Eksperimental tadqiqotlar (“IMR” DM laboratoriyasida va boshqalar) natijalariga ko‘ra, vanadiy, uran va molibden kabi kamyob yer elementlari biologik eritma usuli yordamida, organik reagentlar asosida ekstraksiya qilingan [7].

Xulosa qilib aytganda: Yonuvchi slanes
yoqilg'i-energetik va kimyoviy xomashyo bo'lib,
uglevodorodli xomashyolarning asosiy man-
balaridan biri hisoblanadi.

Quyí eotsen davri yotqizíqlarídagi yonuvchi slaneslar O‘zbekiston hududída keng tarqalgan. Ularning hosil bo‘lishi ikkita havza bilan bog‘liqdir. Sirdaryo va Amudaryo.

Quyidagilarda davridagi metalli yonuvchi slanelar aralash tarkibli cho'kindi jinslarga kiradi, ularda yuqori miqdorda SO_2 , N_2O , N_2O , K_2O , MgO , R_2O , CaO , $\text{S}_{\text{sulf.}}$, S_{org} mavjud.

1. Исоков М.У., Туресебеков А.Х., Борминский С.И., Василевский Б.Б., Шарипов Х.Т., Дерюгин Е.К. Геохимия и минералогия горючих сланцев Узбекистана // Отв.ред. Б.А.Исаходжаев; Госкомгеологии РУз, ГП “НИИМР”, Институт геологии и геофизики АН РУз, Мин-во ВиССО РУз, Ташкентский ХТИ. –Т.: ГП “НИИМР”, 2013. -78с.

2. Курбанов Ш.М. Разработка технологии переработки горючих сланцев Кызылкумов // Автореф. диссерт. на соискание ученой степени к.т.н.: - Навои: 2011г. -20 с.
3. Борминский С.И. Комплексная технология переработки горючих сланцев // Прикладной проект. ГП “НИИМП” Госкомгеологии РУз. (Фонды геология информационного Центра) 2012 г.
4. Разиков О.Т., Нуртаев Б.Х. Будущее энергетика в горючих сланцах // Республиканской научно-практической конференции “Актуальные проблемы геологии, геофизики, петрологии и рудообразования” Тошкент, 2022. – С. 57-59.
5. Нуртаев Б.Х., Яндашев Р.Э., Юсупов Х.Р., Муродуллаева М.У. Геологическое строение горючих сланцев в Западном Узбекистане // «Universum: технические науки» 12 (117). Москва-2023. -с. 22-27.
6. Nurtayev B. Kh., Yusupov Kh. R., Mineral and chemical composition in the oil shales of the Sangruntau deposit // International Journal of Geology, Earth & Environmental Sciences. ISSN: 2277-2081. 2025 Vol. 15, pp. 73-76.
7. Мирзаев А.У. Нерудные полезные ископаемые Кызылкумского горнорудного региона. Журнал «Горный вестник Узбекистана» -2 Навоий. № 53, 2013., С. 82-87.

KIMYOVIY TEXNOLOGIYA VA QURILISH
ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО
CHEMICAL TECHNOLOGY AND CONSTRUCTION

UO'K: 543.42:546.82:543.3

 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.20

RUX IONINI 4-(2-PIRIDILAZO)-REZORSIN REAGENTI YORDAMIDA
SPEKTROFOTOMETRIK ANIQLASH



**Turabov Nurmuhhammad
Turabovich**

Kimyo fanlari nomzodi, professor,
Mirzo Ulug'bek nomidagi
O'zbekiston Milliy universiteti,
Toshkent, O'zbekiston
E-mail: turabov2019@mail.ru
ORCID ID: 0009-0006-6998-2390



**Todjiyev Jamoliddin
Nasiriddinovich**

Kimyo fanlari nomzodi, dotsent,
Mirzo Ulug'bek nomidagi
O'zbekiston Milliy universiteti,
Toshkent, O'zbekiston
E-mail: todjiyev88@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-5932-3849



**Xayrullayeva
Shahinabonu Lutfullo
qizi**

Mirzo Ulug'bek nomidagi
O'zbekiston Milliy universiteti,
Toshkent, O'zbekiston
E-mail: shahinabonu@gmail.com
ORCID ID: 0009-0003-1591-1034

Annotatsiya. Ushbu maqolada 4-(2-piridilazo)-rezorsin (PAR) reagentidan foydalanib rux ionlarini spektrofotometrik usulda aniqlash sharoitlari ilmiy jihatdan o'rganildi. Rux bilan hosil bo'ladigan kompleks birikmaning optik zichligi turli to'lqin uzunliklarida (λ), eritmaning pH qiymatlarida, bufer eritma tarkibida hamda komponentlarning qo'shilish ketma-ketligida tekshirildi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, maksimal optik zichlik $\lambda=550$ nm da, pH=5,08 bo'lgan atsetatli bufer eritmasida va komponentlar rux–bufer–reagent–distillangan suv ketma-ketligida qo'shilganda kuzatiladi. Ushbu optimal sharoitlar rux ionlarini yuqori sezuvchanlik va aniqlik bilan aniqlash imkonini beradi. Shuningdek, ishlab chiqilgan usul ekologik jihatdan xavfsiz bo'lib, analitik kimyoda tezkor va samarali usullardan biri sifatida tavsiya etilishi mumkin.

Kalit so'zlar: rux ionlari, spektrofotometriya, 4-(2-piridilazo)-rezorsin (PAR), kompleks birikma, optik zichlik, bufer eritma, aniqlash sezuvchanligi.

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ ЦИНКА С
ПОМОЩЬЮ РЕАГЕНТА 4-(2-ПИРИДИЛАЗО) РЕЗОРЦИНА

**Турабов Нурмухаммад
Турабович**

Кандидат химических наук,
профессор, Национальный
университет Узбекистана имени
Мирзо Улугбека,
Ташкент, Узбекистан

**Тоджиев Жамолiddин
Насириддинович**

Кандидат химических наук,
доцент, Национальный
университет Узбекистана имени
Мирзо Улугбека,
Ташкент, Узбекистан

**Хайруллаева
Шахинабону Лутфулло
кизи**

Национальный университет
Узбекистана имени Мирзо
Улугбека, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В данной статье исследованы оптимальные условия спектрофотометрического определения ионов цинка с использованием реагента 4-(2-пиридилазо)-резорцина (ПАР). Изучено изменение оптической плотности образующегося комплекса цинка с реагентом в зависимости от длины волны (λ), значения pH раствора, состава буферной системы, а также порядка внесения компонентов. Экспериментальные результаты показали, что максимальная оптическая плотность достигается при $\lambda=550$ нм, в ацетатном буферном растворе с pH=5,08 и при последовательном добавлении компонентов в порядке: цинк – буфер – реагент – дистиллированная вода. Установленные условия обеспечивают высокую чувствительность и точность определения ионов цинка. Предложенный метод является экологически безопасным и может быть рекомендован для применения в аналитической химии как быстрый и эффективный способ анализа.

Ключевые слова: ионы цинка, спектрофотометрия, 4-(2-пиридилазо)-резорцин (ПАР), комплексное соединение, оптическая плотность, буферный раствор, чувствительность определения.

SPECTROPHOTOMETRIC DETERMINATION OF ZINC IONS USING 4-(2-PYRIDYLAZO)-RESORCINOL REAGENT

**Turabov Nurmuhammad
Turabovich**

Candidate of Chemical Sciences,
Professor, Mirzo Ulugbek National
University of Uzbekistan,
Tashkent, Uzbekistan

**Todjiev Jamoliddin
Nasiriddinovich**

Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor, Mirzo Ulugbek
National University of Uzbekistan,
Tashkent, Uzbekistan

**Xayrullaeva
Shahinabonu Lutfullo
kizi**

Mirzo Ulugbek National University
of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. This article investigates the optimal conditions for the spectrophotometric determination of zinc ions using the reagent 4-(2-pyridylazo)-resorcinol (PAR). The optical density of the zinc–PAR complex was studied under various conditions, including wavelength (λ), solution pH, buffer composition, and the order of reagent addition. The results revealed that maximum absorbance is observed at $\lambda=550$ nm in an acetate buffer solution with pH=5.08, when the components are added in

Kirish. Rux miqdori sanoatda muhim ahamiyatga ega, biologik oziq moddalar, toksikant, atrof-muhitni ifloslantiruvchi element hisoblanadi. U ko'plab ferment tizimlari bilan bog'liq bo'lib, metalloferment va ferment faollashtiruvchisi sifatida muhim rolni o'ynaydi [1-2]. Rux mikroelement sifatida ko'pchilik organizmlarda muhim biokimyoviy jarayonlarni amalga oshiradi. Ruxning kam miqdorlari insulin ishlab chiqarishda ishtirok etadi. Bu muammolarni hal qilishda sezgir, tanlab ta'sir etuvchan, apparatura jihatidan arzon, bajarilishi jihatidan qulay bo'lgan ekspress aniqlash metodlarini ishlab chiqish talab etiladi. Bu talablarga ma'lum ma'noda optik analiz metodlari javob beradi [3-8].

Rux inson salomatligi uchun juda muhim metallidir. Ushbu elementni o'z ichiga olgan 20 dan ortiq metallofermentlar past konsentratsiyalarda

aniqlangan. Bundan tashqari, rux birikmalari bakteritsid faollikka ega ular bir nechta bakteriyalarni cho'ktirishi va oqsillar denaturatsiyasida ishtirok etishi mumkin. Shu sababli ular turli soxalarda dermatologiyada, og'iz yuvish vositalari va oftalmik eritmalar antiseptik va dezinfektsiyalovchi vositalarida va rux odatda mineral vitamin preparatlarida ham mavjud. Shunday qilib, farmatsevtikada ruxni aniqlash muhim tahliliy vazifadir [9-12].

Tajribaviy qism. Ushbu ilmiy tadqiqotda 4-(2-piridilazo)-rezorsin (PAR) bilan Zn(II) ionlari o'rtasida kompleks hosil bo'lishining optimal sharoitlari o'rganildi hamda uning asosida tezkor, yuqori sezgirlikka ega va tanlab ta'sir etuvchi fotometrik aniqlash metodikasi ishlab chiqildi.

Tajriba jarayonida Zn(II) ionlari uchun 1,0 mg/ml konsentratsiyali standart eritma, 0,1% li 4-

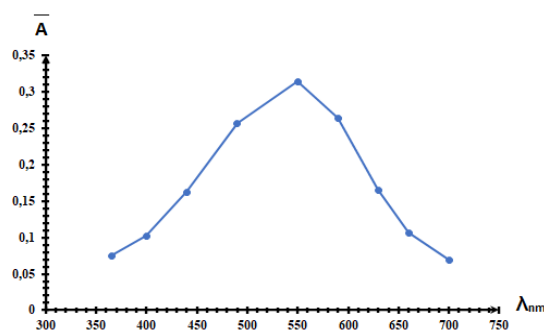
(2-piridilazo)-rezorsin reagenti va turli pH qiymatlariga ega bufer eritmalaridan foydalanildi. Reagent tayyorlash uchun analitik tarozida 0,1 g PAR tortilib, o'lov kolbasida distillangan suv yordamida belgisigacha suyultirildi. Zn(II) ionlari manbai sifatida $\text{ZnCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ tuzidan foydalanildi. Shu maqsadda 2,911 g tuz analitik tarozida tortilib, 1000 ml li o'lov kolbasiga solindi va distillangan suv bilan belgisigacha suyultirilib, 1 mg/ml (1000 mkg/ml) standart eritma tayyorlandi. Ishchi eritmalar har bir tajribadan oldin ushbu standart eritmadan alikvot qism olinib, kerakli darajada suyultirish orqali tayyorlandi.

Turli pH qiymatlaridagi bufer eritmalar tayyorlashda "Analitik kimyo ma'lumotnomasi" dan foydalanildi. O'lovlar UV/Vis spektrofotometr hamda pH-metr (pH/ISE Metter, Model 730P) yordamida bajarildi.

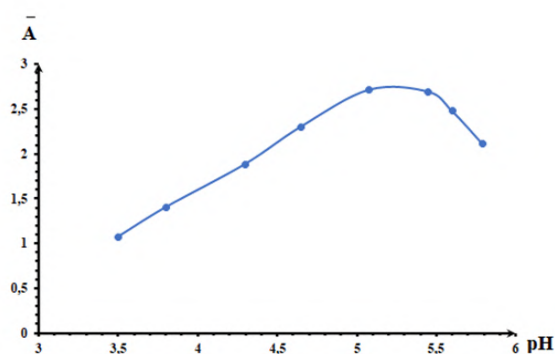
Zn(II) ionining 4-(2-piridilazo)-rezorsin bilan hosil qilgan kompleksi uchun optimal to'liq uzunligini aniqlash maqsadida tajribalar o'tkazildi. Buning uchun 25,0 ml li o'lov kolbasiga pH = 5,08 ga ega universal bufer eritmadan 5,0 ml, 0,1% li PAR eritmasidan 1,0 ml hamda 100 mkg/ml Zn(II) eritmasidan 1,0 ml solinib, belgisigacha distillangan suv qo'shildi. Hosil bo'lgan kompleks birikmaning optik zichligi UV/Vis spektrofotometr yordamida, nur yutish qalinligi $l=1,0$ sm bo'lgan kyuvetada o'lchandi. Nazorat eritma sifatida metall ionidan tashqari barcha komponentlar kiritilgan eritmadan foydalanildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, Zn(II)-PAR kompleksi uchun maksimal optik zichlik $\lambda=550$ nm da qayd etildi.

Shuningdek, Zn(II)-PAR kompleksining optik zichligi eritma muhiti pH qiymatiga bog'liq holda o'rganildi. Buning uchun 25,0 ml li o'lov kolbasiga pH qiymati 3 dan 13 gacha bo'lgan universal bufer eritmalaridan 5,0 ml, 0,1% li PAR eritmasidan 1,0 ml va 100 mkg/ml Zn(II) eritmasidan 1,0 ml solinib, belgisigacha distillangan suv qo'shildi. Olingan kompleks eritmalarining optik zichliklari UV/Vis spektrofotometrda $\lambda_{\text{max}} = 550$ nm da va nur yutish qalinligi $l=1,0$ sm bo'lgan kyuvetada o'lchandi. Olingan natijalar grafik ko'rinishda (2-rasm) ifodalandi.

Asosiy reaksiya (Zn^{2+} - $\text{R}_{\text{reagent}}$) komponentlariga bufer eritmalar tarkibiga bog'liqligini o'rganish uchun pH=5,08 bo'lgan bufer eritmalaridan foydalanildi.



1-rasm. Zn kompleksi optik zichligining nur filtriga bog'liqligi.



2-rasm. Kompleks birikma optik zichligining pH ga bog'liqligi.

Zn(II)ni 4-(2-piridilazo)-rezorsin reagenti bilan kompleks birikmasi optik zichligini bufer eritma tarkibiga bog'liqligi.

Aniqlash uslubi: Fotometrik eritmalar tayyorlash uchun avvalgi tajriba jarayonida qo'llangan usul asosida 25,0 ml li o'lov kolbalariga pH=5,08 bo'lgan bufer eritmadan 5,0 ml, 0,1% li 4-(2-piridilazo)-rezorsin eritmasidan 2,0 ml hamda 100 mkg/ml li Zn(II) standart eritmasidan 1,0 ml solindi va kolbaning belgisigacha distillangan suv bilan suyultirildi. Hosil qilingan analitik aralashmaning optik zichliklari UV/Vis spektrofotometr yordamida, nur yutish qalinligi $l=1,0$ sm bo'lgan kyuvetada, solishtirma eritmaga nisbatan o'lchandi.

1-jadval

Optik zichligining bufer eritma tarkibiga bog'liqligi ($n=3$)

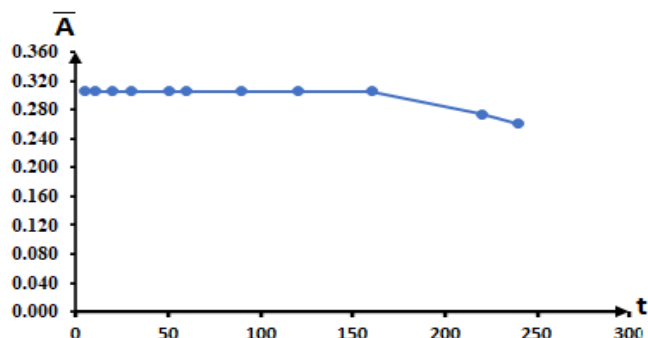
Bufer eritma nomi	Bufer eritmaning tarkibi	pH	$\bar{A}_{0,1\text{cm}}$
Universal	$(\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_3\text{BO}_3 + \text{NaOH})$	5,08	0,378
Na va K-fosfatli	$(\text{KH}_2\text{PO}_4 - \text{Na}_2\text{HPO}_4)$	5,08	0,215
Atsetatli	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa}$	5,08	0,476

Olingan natijalar 1-jadvalda keltirilgan. Tad-

qiqot natijalaridan ko‘rinib turibdiki, atsetatli bufer eritma qo‘llanilganda hosil bo‘lgan Zn(II)–4-(2-piridilazo)-rezorsin kompleks eritmasi maksimal optik zichlikni namoyon etdi. Shu bois keyingi barcha tajribalarda pH=5,08 qiymatga ega atsetatli bufer eritmadan foydalanildi.

Kompleksining vaqtga nisbatan barqarorligi. Zn(II)ni 4-(2-piridilazo)-rezorsin reagenti bilan bergan kompleksining vaqtga nisbatan barqarorligini aniqlash.

Aniqlash uslubi: 25,0 ml li o‘lchov kolbalariga 100 mkg/ml li Zn(II) eritmasidan 1,0 ml solib, pH=5,08 bo‘lgan eritmalar 5,0 ml dan, 0,1 % li 4-(2-piridilazo)-rezorsin reagenti eritmasidan 2,0 ml solib, kolbaning belgisigacha distillangan suv bilan suyultirildi, tayyor bo‘lgan analitik aralashmani optik zichliklari UV/Vis spektrophotometrida o‘lchandi. Natijalar 3-rasmda keltirildi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, kompleks birikmaning optik zichlik qiymati 180 minutgacha barqaror va bu vaqt oralig‘ida analizni bajarish uchun yetarli ekanligini xulosa qilish mumkin.



3-rasm. Kompleks birikma optik zichligining vaqtga bog‘liqlik grafigi.

Kompleks birikma tarkibiy komponentlarining quyilish tartibini o‘rganish. Reaksiyaning unumi komponentlar quyilish tartibiga ham bog‘liqligini e‘tiborga olgan holda eritmalar quyida ko‘rsatilgan usul bilan tayyorlandi va komponentlarning quyilish tartibini o‘zgartirib, 7 xil quyilish ketma-ketligida bir nechta tajribalar o‘tkazildi. Olingan natijalardan xulosa qilish mumkinki, olib borilgan tajribalarning 3 tartibdagi quyilish tarkibida yuqori optik zichlik kuzatildi va keyingi tadqiqot ishlarida 3-quyilish tartibi tanlandi.

2-jadval

Zn(II)–4-(2-piridilazo)-rezorsin kompleks birikmasining optik zichligiga komponentlarni quyilish tartibining ta‘siri ($C_{Zn^{2+}}=100,0$ mkg/ml, $C_{HR}=0.1\%$, pH=5,08, $l=1,0$ sm, $\lambda_{max}=550$ nm, $n=3$)

No	Quyilish tartibi	$\bar{A}$ o‘rtacha
1.	rux–bufer–reagent–diss suv	0,0302
2.	reagent–bufer–rux–diss suv	0,056
3.	rux–bufer–reagent–diss suv	0,124
4.	bufer–rux–reagent–diss suv	0,083
5.	reagent–rux–bufer–diss suv	0,0133
6.	rux–reagent–bufer–diss suv	0,041
7.	rux–diss suv–bufer–reagent	0,072

Kompleks birikma optik zichligining qo‘shilayotgan reagent miqdoriga bog‘liqligi. Amaliy tadqiqotlarda metalni reagentga to‘la bog‘lanishi uchun odatda reagentning ortiqcha miqdori olinadi. Shu maqsadda kompleks birikma optik zichligining qo‘shilgan reagent miqdoriga bog‘liqligi o‘rganildi.

Aniqlash usuli: 25,0 ml li o‘lchov kolbalariga 100 mkg/ml Zn(II) eritmasidan 1,0 ml 5,0 ml (pH=5,08) bo‘lgan atsetatli eritmasidan, o‘zgaruvchan miqdordagi 0,50–3,50 ml gacha 0,1% li 4-(2-piridilazo)-rezorsin eritmasi solindi kolbaning belgisigacha distillangan suv bilan to‘ldirildi. Kompleks birikmaning optik zichligi UV/Vis spektrophotometr asbobida va nur yutish qalinligi $l=1,0$ smli kyuvetada nur filtri $\lambda=550$ nm da solishtirma eritmaga nisbatan o‘lchandi. Natijalar 3-jadval va 4-rasmda keltirildi. Olingan natijalardan ko‘rinib turibdiki, 100,0 mkg/ml Zn(II) ni kompleks bilan to‘la bog‘lash uchun reagentning optimal hajmi 1,5 va 2,0 ml oralig‘ida kuzatildi, keyingi ishlarda 4-(2-piridilazo)-rezorsin reagentini 2,0 ml li eritmasidan foydalanildi.

3-jadval

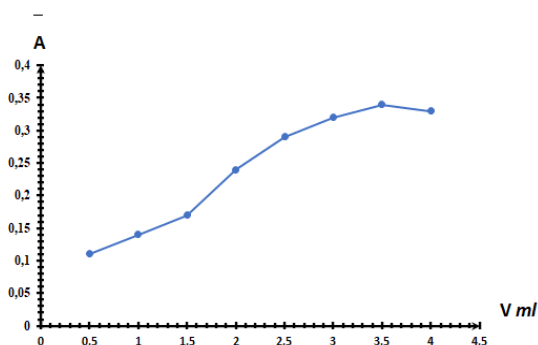
Zn(II)–4-(2-piridilazo)-rezorsin kompleksining optik zichligiga reagent hajmining ($V_{R₂}$) ta‘siri (Uv/Vis spektrofotometrda $C_{Zn^{2+}}=100,0$ mkg/ml, $l=1,0$ sm, $\lambda_{nm}=550$ nm, $n=3$)

V_{R_2} , ml	0,50	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
$\bar{A}$	0,11	0,14	0,17	0,24	0,29	0,32	0,34	0,33

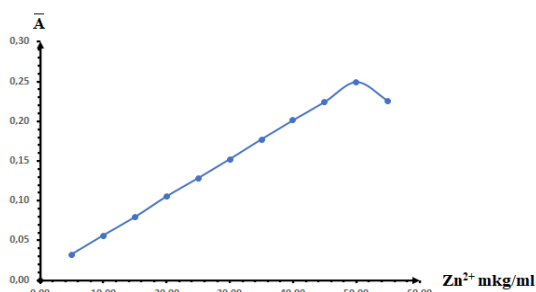
Kompleks birikma optik zichligining element miqdoriga bog‘liqligi (Buger-Lambert-Ber qonuniga bo‘ysinishi).

Aniqlash uslubi: 25,0 ml li o‘lchov kolbalariga Zn(II) ning 10,00 mkg/ml li eritmasidan

o'zgaruvchan miqdorda, 5,0 ml pH=5,08 atsetatli bufer eritmasidan, 2,0 ml 0,1 % li 4-(2-piridilazo)-rezorsin eritmasidan solib, kolbaning belgisigacha distillangan suv solib, suyultirildi. Eritmalarni aralashtirib optik zichliklari UV/Vis spektrophotometr asbobida va nur yutish qalinligi $l=1,0$ sm li kyuvetada, nur filtri $\lambda=550$ nm da solishtirma eritmaga nisbatan o'lchandi. Olingan natijalar 3-jadval va 4-rasmda keltirildi. Natijalardan ko'rinib turibdiki, Buger–Lambert–Ber qonuniga bo'ysinish soxasi 25,0 ml eritmada 5,0 mkg dan 50 mkg/ml oralig'igacha tog'ri chiziqli bog'lanish kuzatildi.



4-rasm. Optik zichlikning qo'shilgan reagent miqdoriga bog'liqligi.



5-rasm. Optik zichlikning Zn²⁺ miqdoriga bog'liqligi.

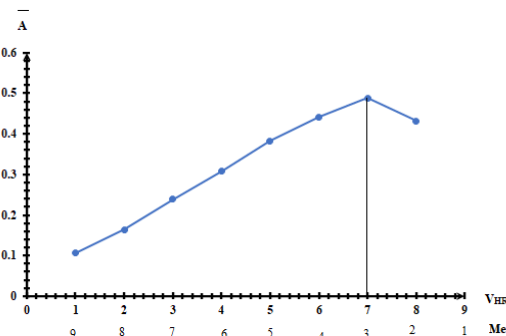
Zn(II)ning 4-(2-piridilazo)-rezorsin reagenti bilan hosil qilgan kompleksining tarkibiy mollar nisbatini aniqlash. Zn(II) ning 4-(2-piridilazo)-rezorsin reagenti bilan hosil qilgan kompleksida komponentlarning mollar nisbatlari izomolyar seriyalar metodi va Asmusning to'g'ri chiziqlar metodlari bilan aniqlandi.

Kompleks tarkibini Izomolyar seriyalar metodi yordamida aniqlash. Zn(II) ning 4-(2-piridilazo)-rezorsin reagenti bilan hosil qilgan kompleksidagi mollar nisbatini izomolyar seriyalar metodi bilan aniqlash uchun Zn(II) va 4-(2-

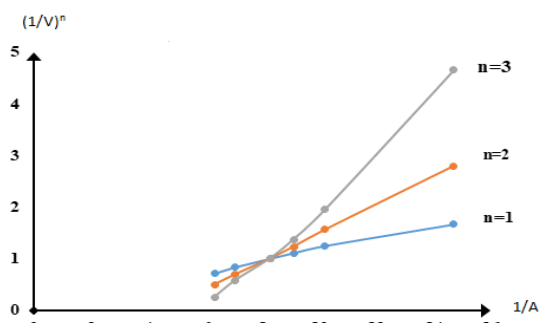
piridilazo)-rezorsin reagentining teng konsentratyali eritmaları ishlatildi: $C_{Zn^{2+}}:HR=7,648 \cdot 10^{-4}$ mol/l

Aniqlash uslubi: 25,0 ml li o'lchov kolbalariga qator eritmalar tayyorlandi. Buning uchun Zn(II) ning o'zgaruvchan miqdorli eritmaları (9,0 ml dan-1,0 ml gacha) dan, pH=5,08 bo'lgan bufer eritmasidan har biriga 5,0 ml dan qo'shib, o'zgaruvchan miqdordagi 4-(2-piridilazo)-rezorsin reagenti eritmasi (1,0 ml-9,0 ml gacha) dan har biriga qo'shib, va kolba belgisigacha distillangan suv bilan suyultirildi va aralashtirildi. Tayyorlangan eritmaların optik zichligi spektrofotometrda, nur yutish qalinligi $l=1,0$ sm bo'lgan kyuvetalarda solishtirma eritmaga nisbatan o'lchandi. Olingan natijalar 5-rasmda keltirildi. Ushbu grafikdan ko'rinib turibdiki, Zn(II) bilan 4-(2-piridilazo)-rezorsin reagentining hosil qilgan kompleksining tarkibi Zn:R=1:2 mollar nisbatiga to'g'ri keldi.

Kompleks tarkibini Asmusning to'g'ri chiziqlar usuli yordamida aniqlash. O'zaro ta'sir etuvchi komponentlarning stexiometrik nisbatlarini grafik usulida aniqlash uchun $(1/V)^n = l/A$ bog'liqlik grafigi tuzildi. Bu bog'liqlik faqat "n" ning qiymati haqiqiy qiymat uchun to'g'ri chiziqni ifodalaydi.



6-rasm. Izomolyar seriyalar metodi yordamida aniqlash grafigi.



7-rasm. Asmusning to'g'ri chiziqlar usuli yordamida aniqlash grafigi.

Aniqlash uslubi: 25,0 ml li o'lchov kolbalariga teng kontsentratsiyali Zn(II) eritmasidan 1,0 ml solib, pH=5,08 bo'lgan universal buferdan har biriga 5,0 ml dan solib, ustiga o'zgaruvchan miqdorda 4-(2-piridilazo)-rezorsin reagentining suvli eritmasi kolba belgisigacha distillangan suv bilan suyultirildi va aralashtirildi. Tayyorlangan eritmalarning fotometrik optik zichliklari spektrofotometrda nur yutish qalinligi $l=1,0$ sm bo'lgan kyuvetalarda o'lchandi. Natijalar 6-rasmda keltirilgan. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, to'g'ri chiziq 1:2 mollar nisbatiga to'g'ri keldi. Ikkala metod ham bir-birini tasdiqladi va tarkib $Zn^{2+}:R=1:2$ nisbatda ekanligini ko'rsatdi.

Xulosa. Mazkur ilmiy ishda Zn ionlarini aniqlash uchun 4-(2-piridilazo)-rezorsin reagenti asosida spektrofotometrik usul ishlab chiqildi va takomillashtirildi. Tadqiqotlar davomida 4-(2-piridilazo)-rezorsin reagentining Zn ionlari bilan kompleks hosil qilishi sharoitlari o'rganildi. Aniqlangan optimal sharoitlar orasida eritma muhiti pH=5,08 eng yuqori optik zichlikni ta'minlagani sababli, aynan shu pH qiymati analitik ish uchun

tanlandi.

Kompleks birikmaning optik zichligi vaqtga nisbatan 120 daqiqagacha barqaror saqlanishi, ushbu usulning amaliy jihatdan qulayligini ko'rsatdi. Buger–Lambert–Ber qonuniga muvofiq to'g'ri chiziqli bog'lanish 5,0 mkg/ml dan 50,0 mkg/ml gacha oraliqda saqlanib qoldi. Shuningdek, izomolyar seriyalar metodi orqali kompleksdagi Zn:R molyar nisbati 1:2 ga tengligi aniqlanib, 4-(2-piridilazo)-rezorsin reagentining Zn bilan ikki koordinatsion bog' hosil qilishi tasdiqlandi. Tahlil qilingan farmatsevtik namunalarda aniqlik darajasi 97,5% dan 99,9% gacha bo'lib, metodning ishonchligini ko'rsatdi. Shu asosda, 4-(2-piridilazo)-rezorsin reagenti yordamida Zn ionlarini spektrofotometrik usulda aniqlash usuli yuqori sezuvchan, barqaror, arzon va oddiy bajarilishi bilan ajralib turadi. Bu usul farmatsevtik nazorat, biologik va atrof-muhit namunalari tahlil qilishda keng qo'llanilishi mumkin bo'lgan istiqbolli analitik metod sifatida tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Islam, M. T., & Ahmed, M. J. (2013). A simple spectrophotometric method for the trace determination of zinc in some real, environmental, biological, pharmaceutical, milk and soil samples using 5,7-dibromo-8-hydroxyquinoline. *Pak. J. Anal. Environ. Chem.*, 14(1), 1–15.
2. Карибьянц, М. А., и др. (2014). Исследование равновесий в растворах системы м-крезолфталеоксон S-цинк в присутствии метоклопрамида. *Инновации в науке*, (38), 11–17.
3. Todjiyev, J. N., Turabov, N., Xusanov, B. M., Turaeva, G. S., Lakaev, Sh. S., Razzoqova, S. R., Sagdillayeva, Z. A., Yuldasheva, U. A., Muhammedova, B. I., Sapaev, I. B., & Yunusov, Kh. E. (2024). Determination of Ni(II) ions in natural objects and industrial alloys via a spectrophotometric method with 4,5-dihydroxy-3,6-dinitrosonaphthalene-2,7-disulfoic acid. *Chemical Review and Letters*, 10, 895–911.
4. Todjiyev, J. N., Turabov, N., Turaeva, G. S., Xusanov, B. M., Yunusov, Kh. E., Tuliyeu, B. A., Gazieva, A. S., Pulatova, G. U., & Smanova, Z. A. (2024). Spectrophotometric determination of microconcentrations of zinc(II) and copper(II) in water and industrial alloys using a new chromogenic reagent [4-amino-5-hydroxy-6-[(5-methyl-2-pyridyl)azo]-3-sulfo-1-naphthyl]sulfonyloxysodium. *Chemical Review and Letters*, 3, 388–403. <https://doi.org/10.22034/CRL.2024.457689.1338>
5. Иванова, Ю. Б., Семейкин, А. С., Мамардашвили, Н. Ж., & Койфман, О. И. (2015). Спектрофотометрическое исследование кислотных и комплексобразующих свойств производных октаметилпорфирина. *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*, 58(9), 15–21.
6. Антонова, Т. В., Черненко, С. А., & Шацаускас, А. Л. (2017). Производные 1,7-нафтиридина как аналитические реагенты для спектрометрического определения переходных металлов. *Молодёжь третьего тысячелетия*, 1619–1623.

7. Гамов, Г. А., Завалишин, М. Н., Хохлова, А. Ю., Гашникова, А. В., & Шарнин, В. А. (2018). Устойчивость комплексов Cu(II), Zn(II) с пиридинкарбогидразонами пиридоксаль-5-фосфата в водном растворе. Журнал общей химии, 88(7), 1144–1148.
8. Иванова, Ю. Б., Разгоняев, О. В., Семейкин, А. С., & Мамардашвили, Н. Ж. (2015). Спектрофотометрическое исследование основных и координационных свойств 5,10,15,20-тетракис-(тиен-2-ил)-2,3,7,8,12,13,17,18-октаметилпорфирина. Журнал общей химии, 85(4), 635–640.
9. Safaa, S. N., Maha, A. Al-H. H., Mundher, A. Al-Sh., & Tahseen, S. F. (2020). Spectrophotometric determination of zinc in pharmaceutical medication samples using 8-hydroxyquinoline reagent. International Journal of Chemistry, 12(1), 28–36. <https://doi.org/10.5539/ijc.v12n1p29>
10. Alabidi, H. M., Farhan, A. M., & Al-Rufaie, M. M. (2021). Spectrophotometric determination of Zn(II) in pharmaceutical formulation using a new azo reagent as derivative of 2-naphthol. Current Applied Science and Technology, 1, 176–187.
11. Нуранеева, Е. Н., Гусева, Г. Б., & Антина, Е. В. (2017). Влияние особенностей галогенирования на устойчивость координационных соединений цинка(II) с моноиод- и дибромдипиррометенами. Журнал общей химии, 87(7), 1157–1163.
12. Mammadov, P. R. (2020). Simple spectrophotometric method for the determination of zinc (II) using 4,4'-bis-(2,3,4-trihidroksifenilazo)-difenil. Transactions of Pedagogical University. Təbiət elmləri, 68(1), 48–57.

UO‘K: 667.287.5

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.15

YUQORI SAMARALI QUYOSH ELEMENTINI TAYYORLASH UCHUN MIS ASOSLI FTALOSIANIN MODDASINI SINTEZ QILISH



**Mustafayev Muhammad-
Ali Nurali o'g'li**

Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy
tadqiqot instituti, doktorant,
Toshkent, O'zbekiston
E-mail:

Muha1993ali1212@gmail.com

ORCID ID: 0009-0005-4168-3383



**Karimov Mas'ud
Ubaydulla o'g'li**

Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy
tadqiqot instituti, t.f.d., professor,
Toshkent, O'zbekiston
E-mail:

masudkarimov27@gmail.com

ORCID ID: 0000-0001-5063-0914



**Djalilov Abdulahat
Turapovich**

Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy
tadqiqot instituti, O'zRFA
akademigi, k.f.d., professor,
Toshkent, O'zbekiston
E-mail:

gup_tniixt@mail.ru

Annotatsiya. Mazkur ilmiy ishda quyosh panellari haqida qisqacha ma'lumotlar berilib, quyosh elementlarini tayyorlashda foydalaniladigan ftalosianin pigmentining sintez jarayoni hamda uning infraqizil (IR) spektral tahlili yoritilgan. Mis asosli ftalosianin namunasi PerkinElmer Fourier-transform infraqizil (FTIR) spektrometri yordamida tahlil qilinib, unda mavjud funksional guruhlar aniqlangan. Spektral ma'lumotlarga ko'ra, namunada aromatik halqalar, karbonil, gidroksil, efir, nitril hamda metall-kislorod (Cu–O) bog'lanishlariga xos cho'qqilar qayd etilgan. Olingan natijalar namunada mis ionlari bilan kompleks hosil qilgan fitokimyoviy birikmaning mavjudligini tasdiqlaydi. Ushbu tahlil ftalosianin asosli quyosh elementlarining tarkibini chuqur o'rganish va ularning fotoelektrik samaradorligini oshirish imkoniyatlarini baholashda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: Quyosh elementi, ftalosianin pigmenti, ftol anhidrid, mis(I)xlorid, borat kislotasi, karbomid, sulfat kislota, natriy karbonat, IR spektori.

СИНТЕЗ МЕДЬСОДЕРЖАЩЕГО ФТАЛОЦИАНИНА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

**Мустафаев Мухаммад-
Али Нурали угли**

Ташкентский научно-
исследовательский химико-
технологический институт,
докторант,
Ташкент, Узбекистан

**Каримов Масуд
Убайдуллаевич**

Ташкентский научно-
исследовательский химико-
технологический институт,
доктор технических наук,
профессор,
Ташкент, Узбекистан

**Джалилов Абдулахат
Турапович**

Ташкентский научно-
исследовательский химико-
технологический институт,
академик АН РУз, доктор
химических наук, профессор,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В данной научной работе представлена краткая информация о солнечных панелях, освещен процесс синтеза фталоцианинового пигмента, используемого при изготовлении солнечных элементов, а также его инфракрасный (ИК) спектральный анализ. Образец фталоцианина на основе меди был проанализирован с помощью инфракрасного Фурье-спектрометра (FTIR) PerkinElmer, в результате чего были идентифицированы имеющиеся функциональные группы. Согласно спектральным данным, в образце обнаружены пики, харак -

терные для ароматических колец, карбонильных, гидроксильных, эфирных, нитрильных и металл-кислородных (Cu-O) связей. Полученные результаты подтверждают наличие в образце фитохимического соединения, образующего комплекс с ионами меди. Данный анализ имеет важное значение для глубокого изучения состава солнечных элементов на основе фталоцианина и оценки возможностей повышения их фотоэлектрической эффективности.

Ключевые слова: Солнечный элемент, фталоцианиновый пигмент, фталевый ангидрид, хлорид меди (I), борная кислота, карбамид, серная кислота, карбонат натрия, ИК-спектр.

SYNTHESIS OF COPPER-CONTAINING PHTHALOCYANINE FOR THE MANUFACTURE OF A HIGHLY EFFICIENT SOLAR CELL

**Mustafaev Mukhammad-
Ali Nurali ugli**

Tashkent Chemical-Technological
Research Institute, doctoral student,
Tashkent, Uzbekistan

**Karimov Masud
Ubaydulla ugli**

Tashkent Chemical-Technological
Research Institute, Doctor of
Technical Sciences, Professor,
Tashkent, Uzbekistan

**Djalilov Abdulakhat
Turapovich**

Tashkent Research Institute of
Chemical Technology, Academician
of the Academy of Sciences of
Uzbekistan, Doctor of Chemical
Sciences, Professor,
Tashkent, Uzbekistan

Abstract. This scientific paper provides concise information on solar panels, describes the synthesis process of the phthalocyanine pigment used in the production of solar cells, and presents its infrared (IR) spectral analysis. A copper-based phthalocyanine sample was analyzed using a PerkinElmer Fourier-transform infrared spectrometer (FTIR), which resulted in the identification of existing functional groups. According to the spectral data, peaks characteristic of aromatic rings, carbonyl, hydroxyl, ether, nitrile, and metal-oxygen (Cu-O) bonds were detected in the sample. The obtained results confirm the presence of a phytochemical compound in the sample that forms a complex with copper ions. This analysis is crucial for an in-depth study of the composition of phthalocyanine-based solar cells and for evaluating the potential to enhance their photoelectric efficiency.

Keywords: Solar cell, phthalocyanine pigment, phthalic anhydride, copper (I) chloride, boric acid, urea, sulfuric acid, sodium carbonate, IR spectrum.

Kirish. Hozirgi kunda ekologik toza va samarali elektr energiyasini ishlab chiqish tobora dolzarblashib, unga bo'lgan talab ortib bormoqda. Elektr energiyasini olishning samarali usullaridan biri – quyosh panellari yordamida ishlab chiqarishdir. Eng keng tarqalgan panellar kremniy asosida bo'lsa-da, bugungi kunda yangi izlanishlar natijasida boshqa moddalar yordamida ham quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirish ishlari olib borilmoqda.

Ftalosianin asosli quyosh elementlarini tayyorlashning bir necha usullari ishlab chiqilgan. Ftalosianin ekologik tozaligi, inson salomatligi va atrof-muhitga zararsizligi, ishlab chiqarishning qulayligi bilan ajralib turadi. Zamonaviy energetika sohasida ekologik toza va samarali elektr energiyasi manbalarini rivojlantirish dolzarb masalaga aylangan. An'anaviy kremniy asosli quyosh panellari keng qo'llanilayotgan bo'lsa-da, yangi avlod mate-

riallari, jumladan ftalosianin asosli quyosh elementlari ilmiy tadqiqotlarning markaziga aylanmoqda.

Ftalosianinning ekologik xavfsizligi, arzonligi, yuqori optik xossalari va ko'p funktsiyali qo'llanilish imkoniyatlari uni quyosh nurlarini elektr energiyasiga aylantirishda istiqbolli modda sifatida ko'rsatmoqda. Ushbu maqolada ftalosianin asosli quyosh elementlarini ishlab chiqish usullari va ularning samaradorligini oshirish imkoniyatlari tahlil qilinadi.

Ftalosianin organik modda bo'lib, u bo'yoq sifatida, elektronika sohasida turli elektron qurilmalar tayyorlashda, tibbiyotda va boshqa yo'nalishlarda keng qo'llanib kelmoqda. Ftalosianinning yuqori optik xossalari quyoshdan kelayotgan nurni o'zlashtirib, elektronlarning harakatlanishini ta'minlaydi va natijada samarali elektr energiyasi olish imkonini beradi [1].

Tajribaviy qism. Mis asosli ftalosianin pigmentini olish jarayoni quyidagicha amalga oshiriladi:

Birinchidan, 100 g ftol angidrid, 16 g mis xlorid, 2,8 g borat kislotasi va 240 g karbamid olinib, yaxshilab aralashtiriladi. Aralashma hovonchada ezilib, elakdan o'tkaziladi. Hosil bo'lgan aralashma 300 °C da 1 soat davomida pechga qo'yiladi. Natijada to'q ko'k rangli ftalosianin moddasi hosil bo'ladi.

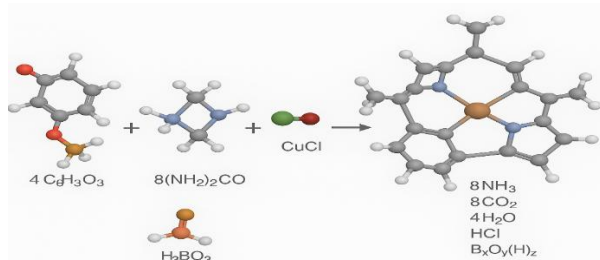
Hosil bo'lgan moddani erimay qolgan va ortiqcha qo'shimchalardan tozalash uchun uni 200 g sulfat kislotaga solib eritiladi. Eritma yaxshi erigach, ustiga asta-sekin distillangan suv qo'shilib, cho'kmaga tushiriladi.

Neytrallashtirish jarayoni: 20 g natriy karbonat 100 ml distillangan suvda eritilib, hosil bo'lgan eritma cho'kma ustiga asta-sekin qo'shiladi. Aralashma yaxshilab aralashtirilib, tindirish uchun qoldiriladi.

Cho'kma hosil bo'lgach, modda ajratib olinadi va kislotaliligi yo'qolguncha bir necha bor distillangan suv bilan yuviladi. pH-indikator yordamida kislotalilik darajasi muntazam tekshirib turiladi [1-2].

Kislotaliligi to'liq yo'qolgach, modda filtrlab olinadi va 70 °C da pechda 24 soat davomida quritiladi. Natijada toza 74,87 g mis asosli ftalosianin pigmenti hosil bo'ladi.

Reaksiyaning borish mexanizmi quyidagicha tasvirlanishi mumkin:



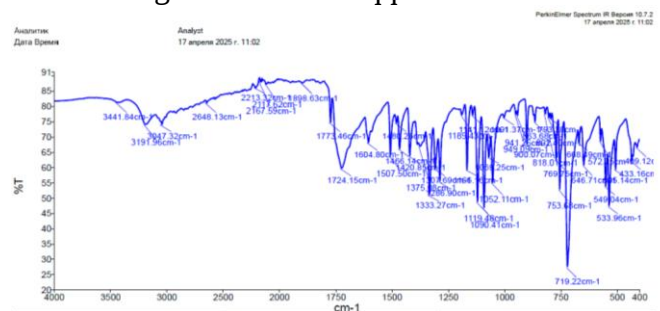
1-rasm. Mis-ftalosianin pigmentini sintez qilish reaksiyasi mexanizmi.

Mazkur maqolada mis asosli ftalosianin namunasining funksional guruhlarini PerkinElmer FTIR (Fourier-transform infrared) spektrometri yordamida olingan infraqizil (IR) spektri asosida tahlil qilindi. Tahlil natijalariga ko'ra, namunada aromatik halqalar, karbonil, gidroksil, efir, nitril hamda metall-kislorod (Cu–O) bog'lanishlariga xos

spektral cho'qqilar aniqlandi. Bu esa mis ionlari bilan kompleks hosil qilgan ftalosianin birikmasining mavjudligini tasdiqlaydi.

Infraqizil spektroskopiya (IR) organik va noorganik moddalar tarkibidagi funksional guruhlarini aniqlashda keng qo'llaniladigan analitik usuldir. Ushbu metod molekuladagi kovalent bog'lanishlarning cho'zilish, burchak ostida egilish yoki siljish vibratsiyalarini qayd etish orqali moddani strukturasi tasvirlaydi.

Ushbu tadqiqotda mis asosli ftalosianin namunasining IR spektri asosida uning kimyoviy tarkibi va funksional guruhlarini aniqlandi. IR spektr PerkinElmer Spectrum IR dasturiy ta'minotining 10.7.2 versiyasi yordamida 4000–400 cm⁻¹ oralig'ida yozib olindi. Asosiy transmittans cho'qqilari qayd etilib, ularning har biri tegishli funksional guruhlar bilan taqqoslandi.



1-rasm. Ftalosianin IR spektroskopiyasi.

IR spektrda aniqlangan asosiy cho'qqilar va ularning ehtimoliy bog'lanishlari quyidagicha:

- Birinchi cho'qqi (gidroksil va amin guruhlarini, O–H / N–H): 3047.32 va 3191.96 cm⁻¹ – keng va kuchli cho'qqilar bo'lib, spirtlar, fenollar yoki birlamchi/ikkilamchi aminlarning mavjudligini ko'rsatadi.

- Ikkinchi cho'qqi (nitril yoki alkin guruhlarini, C≡N / C≡C): 2213.32, 2167.59, 2117.62 cm⁻¹ – uch bog'li guruhlar mavjudligini, ayniqsa nitril (C≡N) mavjudligiga ishora qiladi.

- Uchinchi cho'qqi (karbonil va konjugatsiyalangan tizimlar, C=O / C=C): 1898.63, 1773.46, 1724.15, 1664.16, 1604.80 cm⁻¹ – kuchli cho'qqilar karbonil guruhlarini (keton, karboksil kislotasi, ester) va konjugatsiyalangan tizimlarning mavjudligini bildiradi [3-5].

- To'rtinchi cho'qqi (aromatik halqa): 1507.50, 1480.26, 1466.14, 1375.08 cm⁻¹ – C–C va C–H vibratsiyalari aromatik halqaning mavjudligini

tasdiqlaydi.

- Beshinchi cho‘qqi (efir va spirtli guruhlar, C–O): 1333.27, 1286.90, 1189.43, 1141.12, 1090.41, 1069.25 cm^{-1} – C–O cho‘zilish vibratsiyalari fenolik, efir yoki spirtli guruhlarining mavjudligiga dalildir.

- Oltinchi cho‘qqi (aromatik, Ar–H): 802.40, 793.38, 753.68, 719.22 cm^{-1} – benzol halqali tizimlarga xos tashqi bog‘ burchak ostida egilish yoki siljish vibratsiyalarini ko‘rsatadi.

- Yettinchi cho‘qqi (metall–ligand, Cu–O): 505.14, 533.96, 549.04, 572.25 cm^{-1} – zaif cho‘qqilar metall (mis) va kislorod atomlari orasidagi bog‘lanishni bildiradi.

Infraqizil spektr tahlili asosida mis asosli ftalosianin namunasi tarkibida quyidagi funksional guruhlar aniqlandi: Aromatik halqa (benzol tizimi); Karbonil guruhlar (C=O); Gidroksil (O–H) va ehtimol amin (N–H) guruhlar; Efir yoki spirtli guruhlar (C–O); Nitrit yoki alkin guruhlar (C≡N / C≡C); Mis ionlari bilan koordinatsiyalangan

kislorod atomlari (Cu–O).

Xulosa. Sintez qilingan ftalosianin pigmenti elektr energiyasini yaxshi o‘tkazishi va quyosh nuri ta’sirida yetarli darajada elektronlarni harakatga keltirishi aniqlangan. Ushbu tadqiqotda mis asosli ftalosianin namunasi infraqizil (FTIR) spektroskopiya usuli yordamida tahlil qilindi.

Olingan spektral ma’lumotlar asosida namunada bir qator funksional guruhlar – gidroksil (O–H), amin (N–H), karbonil (C=O), nitrit (C≡N), efir yoki spirtli (C–O), aromatik halqalar hamda metall–kislorod (Cu–O) bog‘lanishlari mavjudligi aniqlandi [5].

Mazkur guruhlarining mavjudligi ftalosianin molekulasi va mis ionlari o‘rtasida kompleks hosilalarning shakllanganini tasdiqlaydi. Tadqiqot natijalari FTIR spektroskopiyani modda tarkibini aniqlashda ishonchli analitik usul ekanini ko‘rsatadi va mis asosli ftalosianinlarning kimyoviy tuzilishini chuqurroq o‘rganishda muhim ahamiyat kasb etishini tasdiqlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Shukurov, D. Kh., Turaev, Kh. Kh., Kholnazarov, B. A., Kasimov, Sh. A., Jumaeva, Z. E., & Tillayev, Kh. R. (2023). Synthesis of zinc phthalocyanine pigment and its application to new generation solar cells. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 71(4), 453–461. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V71I4P238>
2. Богуславский, Е. Г., Прохорова, С. А., & Надолинный, В. А. (2005). Эволюция упорядоченных пленок фталоцианина меди по данным ЭПР. *Журнал структурной химии*, 46(4), 1055–1063.
3. Diacon, A., Rusen, E., Boscornea, C., Pandele, A. M., & Cincu, C. (2011). New phthalocyanine–fullerene dyads sensitizers for solar cells. *UPB Scientific Bulletin, Series B*, 73(3), 87–98.
4. Geerts, Y. H., Debever, O., Amato, C., & Sergeyev, S. (2009). Synthesis of mesogenic phthalocyanine–C60 donor–acceptor dyads designed for molecular heterojunction photovoltaic devices. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 5(49). <https://doi.org/10.3762/bjoc.5.49>
5. Fayziyev, J. B., Djalilov, A. T., & Tillayev, A. T. (2019). Tarkibida metal tutgan yangi ftalosianin pigmentini tadqiq qilish [Study of a new metal-containing phthalocyanine pigment]. [Unpublished/Local source].
6. Исмаилов, Ф. С., и др. (2024). Испытание на прочность бетонных смесей с добавлением суперпластификаторов и базальтовой фибры. *Universum: технические науки*, 6(10[127]), 15–18.

UO‘K: 661.832.043

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.24

KALIY NITRAT ISHLAB CHIQUARISHDA TEXNOLOGIK PARAMETRLARNING TA’SIRI



Normamatov Farxod
Haydarali o‘g‘li

Qarshi davlat texnika universiteti
dotsenti, Qarshi, O‘zbekiston



Uljayeva Aziza
Qahramon qizi

Qarshi davlat texnika universiteti
magistratura talabasi,
Qarshi, O‘zbekiston



Inatova Moxichexra
Ermat qizi

Qarshi davlat texnika universiteti
bakalavr talabasi,
Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu ilmiy maqolada mahalliy xom ashyolardan kaliy nitrat olish jarayonining energiyatejamkor texnologiyasi o‘rganilgan. Tadqiqot davomida xom ashyo sifatida Dehqonobod kaliy zavodi kaliy xloridi va Navoiyazot AJ ammoniy nitratidan foydalanilgan. Jarayon 90°C haroratda olib borilib, hosil bo‘lgan mahsulot 10°C gacha sovutilgan. Maqolada shuningdek reaksiya sharoitlari, xom ashyolarning nisbati va haroratning mahsuldorlikka ta’siri tahlil qilingan bo‘lib, jarayonning optimal texnologik parametrlar aniqlangan. Tadqiqot natijalari kaliy nitrat ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga xizmat qilishi mumkin bo‘lgan amaliy tavsiyalarni o‘z ichiga oladi.

Kalit so‘zlar: kaliy xlorid, ammoniy nitrat, kaliy nitrat, konversiya, eritma, kristallanish, filtrlash.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НИТРАТА КАЛИЯ

Нормаматов Фарход
Хайдарали угли

Доцента Каршинского
государственного технического
университета,
Карши, Узбекистан

Ульджаева Азиза
Кахрамон кизи

Студент магистратуры
Каршинского государственного
технического университета,
Карши, Узбекистан

Инатова Мохичехра
Эрмат кизи

Студент бакалавриата
Каршинского государственного
технического университета,
Карши, Узбекистан

Аннотация. В данной научной статье рассматривается энергосберегающая технология процесса получения нитрата калия из местного сырья. При проведении исследований в качестве сырья использовались хлористый калий Дехканабадского калийного завода и аммиачная селитра АО «Навоизот». Процесс проводился при температуре 90°C, а полученный продукт охлаждался до 10°C. В статье также проанализированы условия реакции, соотношение сырья и влияние температуры на производительность, определены оптимальные технологические параметры процесса. Результаты исследований включают практические рекомендации, которые могут послужить повышению эффективности производства нитрата калия.

Ключевые слова: хлорид калия, аммиачная селитра, нитрат калия, конверсия, раствор, кристаллизация, фильтрация.

TECHNOLOGICAL IN THE PRODUCTION OF POTASSIUM NITRATE EFFECT OF PARAMETERS

**Normamatov Farkhod
Khaidarali ugli**

*Docent of Karshi State Technical
University, Karshi, Uzbekistan*

**Uljayeva Aziza
Kahramon kizi**

*Master's student of Karshi State
Technical University,
Karshi, Uzbekistan*

**Inatova Mohichekhra
Ermat kizi**

*Bachelor's student of Karshi State
Technical University,
Karshi, Uzbekistan*

Abstract. This scientific article studies the energy-saving technology of the process of obtaining potassium nitrate from local raw materials. During the research, potassium chloride from the Dehqanabad Potassium Plant and ammonium nitrate from Navoiyazot JSC were used as raw materials. The process was carried out at a temperature of 90°C, and the resulting product was cooled to 10°C. The article also analyzes the reaction conditions, the ratio of raw materials and the effect of temperature on productivity, and determines the optimal technological parameters of the process. The results of the research include practical recommendations that can serve to increase the efficiency of potassium nitrate production.

Keywords: potassium chloride, ammonium nitrate, potassium nitrate, conversion, solution, crystallization, filtration.

Kirish. Butun dunyoda kaliyli o'g'itlar va ular asosidagi mahsulotlarga bo'lgan talabning ham qishloq xo'jaligida hamda sanoat ishlab chiqarishda yuqori ekanligi ma'lum [1]. Kaliy nitrat (KNO_3) asosiy kimyoviy birikma bo'lib, juda keng miqyosda qishloq xo'jaligida, shisha ishlab chiqarishda, formatsevtikada va pirotexnika sanoatida keng qo'llaniladi. Kaliy gidroksid yoki karbonatda nitrat kislotasini neytrallash yoki azot oksidlarini absorbsiyalash usuli bo'yicha kaliy nitrat olish ishqoriy reagentlarning yetishmasligi va qimmatbaholigi sababli kam qo'llaniladi. Kaliy xlorid va natriy, kalsiy ammoniy nitratlardan kaliy nitrat olishning konversiyali usuli sanoatda keng tarqalgan [2]. Xlorsiz kaliyli o'g'it kaliy nitrat yuqori miqdorda energiya yo'qotilishi, jarayon uzoq davom etishi va ekologik muammolar bilan boradi. Hozirgi kunda kimyoviy ishlab chiqarish sanoatida talablaridan biri kam energiya sarfi va atrof-muhitga salbiy ta'sir bo'lmasligi hisoblanadi. Shu bilan birgalikda energiya tejankor texnologiya bo'lsa, mahsulot ishlab chiqarish jarayonlari soddalashadi va mahsulot tannarxi arzonlashishiga olib keladi.

Hozirgi vaqtda bizning Respublikamizda kaliyli o'g'itlarga bo'lgan talab kaliy xlorid (KCl) hisobiga qoplanmoqda, shuning uchun undagi xlor elementi, o'simliklar kaliyli moddalarga bo'lgan talabni kamaytirib yuboradi. Effektivlikni oshirish maqsadida kaliy sulfat (K_2SO_4) yoki (KNO_3) kaliy nitratni o'simliklar yaxshi o'zlashtiradi.

Ushbu dolzarb muammoni hal qilishda yangi texnologik jarayonlarni ishlab chiqish, kam energiya sarflanadigan va yo'qotiladigan hamda sifatli

va toza mahsulot olish jarayonlarini ishlab chiqish lozim bo'ladi.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Konversiya jarayoni izotermik reaktorda 1–5 daqiqa davomida, maksimal 90°C haroratda amalga oshirildi. Tadqiqotlarda quyidagi fizik-kimyoviy tahlil usullari qo'llandi: elektron-mikroskopik (SEM/EDX), termoanalitik (TG–DSC) va rentgen-fazaviy tahlil (XRD).

SEM/EDX. Namunalarning morfologiyasi va mikrotuzilishi SEM EVO MA 10 skanerlovchi elektron mikroskopida (Carl Zeiss, Germaniya) o'rganildi; kukunlarning mahalliy elementar tarkibi EDX (Oxford Instruments) yordamida aniqlandi. Namuna tayyorlashda kukun quritilib, mikroskop stolchasiga ikki tomonlama yopishtiruvchi (o'tkazuvchi) lenta orqali mahkamlandi; so'ngra namuna kameraga o'rnatilib, vakuum hosil qilindi. O'lchovlarda filamentga 10 kV tezlashtiruvchi kuchlanish berildi, ish masofasi 8,5 mm etib tanlandi. Mahalliy elementar tahlil AZtecEnergy Advanced dasturi yordamida, 100 μm miqyosida bajarildi.

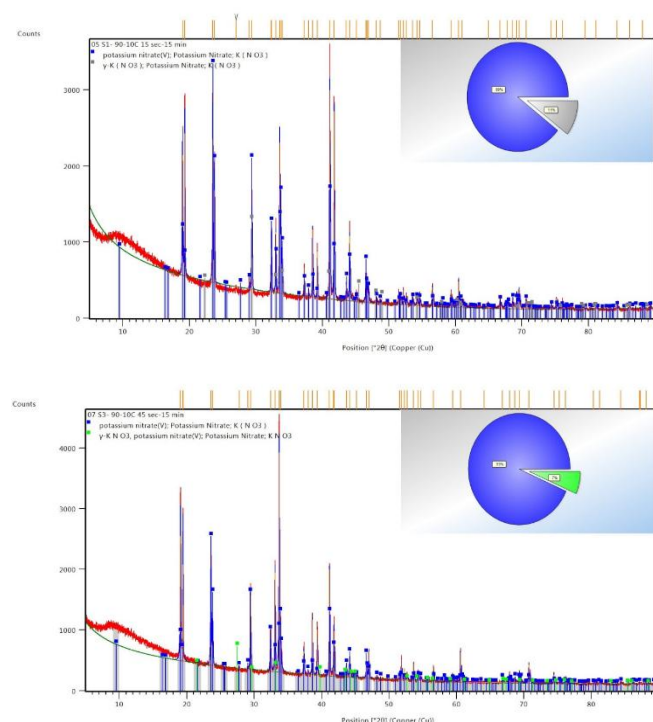
TG–DSC. Termoanalitik tadqiqotlar Netzsch STA 409 PG sinxron analizatorida (Germaniya), K-tip termojuft va alyuminiy tigellardan foydalangan holda o'tkazildi. Barcha o'lchovlar inert azot muhitida (N_2 , sarf tezligi 50 mL/min) olib borildi. Harorat oralig'i 25–370°C, isitish tezligi 5 K/min ($\approx 5^\circ\text{C}/\text{min}$), har bir o'lchov uchun namuna massasi 5–10 mg bo'ldi. Tizim KNO_3 , In, Bi, Sn, Zn standartlar to'plami bilan kalibrlangan [19–20].

XRD. Rentgen-fazaviy tahlil XRD-6100

difraktometrida (Shimadzu, Yaponiya) bajarildi. Cu $K\alpha$ nurlanishi ($\lambda=1,54178 \text{ \AA}$), naycha rejimi 30 kV, 30 mA; qadam kengligi $0,02^\circ 2\theta$ va skan tezligi $4^\circ/\text{min}$ bo'lib sozlandi. Difraktogrammalar asosida fazalar identifikatsiyasi kompyuter boshqaruv tizimi orqali amalga oshirildi.

Hozirda O'zbekiston Respublikasida xlorsiz kaliyli o'g'itlar (xususan, kaliy nitrat va kaliy sulfat)ga talab yuqori, biroq bu mahsulotlar sanoat miqyosida ishlab chiqarilmaydi. Shu sababli, mahalliy xomashyolar asosida konversiya usulini joriy etish ichki bozorni barqaror ta'minlash va eksport salohiyatini oshirishga xizmat qiladi.

Natijalar. $-5-20^\circ\text{C}$ harorat oralig'ida kaliy xloridning ammoniy nitrat bilan konversiyasiga jarayon davomiyligi deyarli ta'sir qilmasligi ko'rsatildi. Minimal xlor qoldig'i, yuqori mahsulot chiqishi va yirik prizmati kristallar hosil bo'lishini ta'minlaydigan optimal texnologik omillar aniqlandi.



1-rasm. Parchalanish vaqtida olingan kaliy nitrat rentgenogrammasi (sek): a-15; b-60.

Tajriba natijalariga ko'ra, konversiya eritmalarini sovutish jarayonida kaliy nitrat (KNO_3) kristallari suspenziya ko'rinishida cho'kadi; kristallanishning texnologik sharoitlariga bog'liq holda qattiq/suyuqlik (S/Q) nisbati $3,42-7,44$

oralig'ida o'zgaradi. Eritmalar sovishi bilan hosil bo'ladigan pulpaning fazalar nisbati ham texnologik parametrlar ta'sirida $S/Q = 2,90-6,84$ diapazonda ekanligi eksperimental ravishda aniqlandi.

K_2O chiqish darajasiga konversiya (metabolik parchalanish) reaksiyasi davomiyligi faqat oz darajada ta'sir qiladi. Biroq reaksiya davomiyligi kristall tuzilishga sezilarli ta'sir ko'rsatadi: rentgenografik tahlil shuni ko'rsatdiki, konversiya davomiyligini 15 soniyadan 60 soniyagacha uzaytirganda hosil bo'lgan kaliy nitrat kristallarining γ -shaklli (γ -faza) ulushi 12% dan 0% gacha kamayadi (1-rasm).

Shuning uchun jarayonning boshida kaliy nitratning γ -shakli kristallanadi, keyinchalik esa u asta-sekin α -shaklga o'tadi.

Olib borgan tadqiqotlarimizda kaliy xlorid (KCl) va ammoniy nitrat (NH_4NO_3)ni konversiya usulida kaliy nitrat (KNO_3) ishlab chiqarish maqsadida sinovdan o'tkazdik. Konversiya 3, 5 va 10 daqiqa davomida olib borildi; jarayonning barqaror borishi va xom ashyolarning to'liq reaksiyaga kirishishini ta'minlash uchun aralashtirish uzluksiz davom ettirildi. Tajribalar 90°C haroratda bajarildi.

Har bir vaqt nuqtasi bo'yicha olingan natijalar — KNO_3 hosil bo'lish kinetikasi, aralashmaning tarkibiy-strukturaviy o'zgarishlari — to'liq tahlil qilindi. Konversiya yakunlangach, eritma shu haroratda filtrlandi: maqsad — dastlabki xom ashyodagi (flotatsion KCl) shlam aralashmalarini ajratib, toza KNO_3 olish. So'ng filtratdan olingan eritma past haroratgacha sovutildi va 15 daqiqa davomida aralashtirish sharoitida kristallantirildi. Bu amaliyot kristallanishni mukammallashtirib, kaliy nitratning yirik va yuqori sifatli kristallarini olish imkoniyatini oshirdi.

Muhokama. Ushbu tajriba orqali olingan kaliy nitratning sifatini yanada yaxshilash va uning ishlab chiqarish jarayonini optimallashtirish imkoniyatlarini o'rganish maqsadida, turli xil vaqt va nisbatlarda olib borilgan konversiya jarayonlarining natijalari tahlil qilindi va jadval holiga keltirildi. Bularning barchasi amaliyotda o'tkaziladigan keyingi tajriba va sinovlar uchun qimmatli ma'lumotlar beradi.

Kristallizatsiya vaqti tugagandan so'ng filtrlanib qattiq fazada kaliy nitrat tuzlarini va to'yingan eritma ajratib olinadi.

1-jadval

***Kaliy nitrat ishlab chiqarishning analitik
ko'rsatgichlariga texnologik parametrlarning
ta'siri***

№	Nisbat KCl: NH ₄ NO ₃	Konversiya davomiyligi min	Kristal lanish tempera- turasini °C	Kristal lanish davomiyligi min	Filtratsiya tezligi V _{filtrat}	Qattiq faza nam- ligi %	S:Q	K ₂ O chiqish darajasi %
1	1:0,8	3	10	15	691,51	8,58	4,4:1	40,19
2		5	10	15	729,53	10,98	4,09:1	42,24
3		10	10	15	1520,62	10,66	4,34:1	41,32
4	1:1	3	10	15	1200,03	4,11	4,11:1	45,21
5		5	10	15	1256,41	7,04	4,39:1	48,06
6		10	10	15	1242	11,5	3,9:1	45,67
7	1:1,2	3	10	15	940,7	15,35	3,6:1	51,6
8		5	10	15	1930,5	11,11	3,5:1	54,8
9		10	10	15	1650,38	8,03	4,6:1	44,83

Xulosa. Olib borilgan tajriba natijalaridan

xulosa qilish mumkinki, KCl:NH₄NO₃=1:1,2 bo'lganda va konversiya harorati 90°C, konversiya davomiyligi 15 minut bo'lganda tayyor mahsulot kaliy nitrat tarkibida K₂O miqdori 54,8% dan kam bo'lmisligi aniqlandi.

Tajriba natijalari kaliy nitrat ishlab chiqarish jarayonini optimallashtirish uchun qimmatli ma'lumotlar taqdim etadi va jarayonning samaradorligini oshirish va sanoat miqyosida kengroq qo'llanilishi uchun muhim asoslar yaratiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Normamatov F.H. Xlorsiz kaliyli o'g'itlar olishning energiyatejamkor texnologiyasini ishlab chiqish. Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati. Toshkent-2022. 5-bet.
2. Mirzakulov X., SHamshiddinov I., To'rayev Z.. Murakkab o'g'itlar ishlab chiqarish nazariyasi va texnologik hisoblari. 2013-yil. 35-bet.
3. Normamatov F.H., Uljayeva A.K. Производства модельной установки белого хлорида калия и нитрата калия.//Universum: технические науки:электрон. научн. журн. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/18865>.
4. Normamatov F.H. Obtaining the influence of technological parameters on the quality of potassium nitrate. QarDU xabarlarlari (2) 2. 2024 yil. 126-132s.
5. Осичкина Р.Г., Попов Б.С. Условия формирования соляных отложений верхнеюрской галогенной формации Средней Азии по данным геохимических исследований и перспективе ее промышленного освоения // Литолого-фациальный и геохимический проблемы соленакопления. - М.:1985. -С.225-231.
6. Осичкина Р.Г. Проблемы калийной и галургической промышленности в Средней Азии // Узб.хим.ж. – 1983. № II. – С.10-16.
7. Нормаматов Ф.Х. Реологические свойства суспензии и растворов, образующихся при получении нитрата калия и хлорида аммония при конверсии хлорида калия с нитратом аммония. Композиционные материалы №3, 2024. 64-67с.

UO‘K: 678.742.2:66.095.26:543.42

 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.25

JM-380 POLIPROPILEN MARKALI TERMOOKSODESTRUKSIYA JARAYONIGA TURLI OMILLAR TA’SIRINI TADQIQ QILISH



**Babajanov Jasurbek
Egamovich**

Katta o‘qituvchi, Berdaq nomidagi
Qoraqalpoq davlat universiteti,
Nukus, O‘zbekiston
E-mail:
jasurbekbabajan@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-4466-1938



**Mavlonov Shohrux
Boboxon o‘g‘li**

T.f.f.d., dots., Buxoro davlat texnika
universiteti, Buxoro, O‘zbekiston
E-mail: shoxrux-mavlonov@mail.ru
ORCID ID: 0009-0009-1652-6369



**Hayitov Ruslan
Rustamjonovich**

Texnika fanlari doktori (DSc), katta
ilmiy xodim, Buxoro davlat texnika
universiteti, Buxoro, O‘zbekiston
E-mail: leo-bexa@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-6207-3852

Annotatsiya. Mazkur maqolada JM-380 markali polipropilenning termooksodestruksiya jarayoniga turli omillar — harorat, vaqt, oksidlovchi muhit, aralashtirish tezligi va stabilizatorlar ishtirokining ta’siri kompleks o‘rganilgan. Natijada JM-380 markali polipropilenni termooksidlovchi destruksiyalash uchun quyidagi sharoitlar optimal deb baholandi: harorat – $300 \pm 10^{\circ}\text{C}$, ishlov vaqti – 30–40 daqiqa, muhit – kislorodli atmosfera ($\geq 15\%$). Ushbu parametrlar asosida amalga oshirilgan destruksiya jarayonida molekulyar og‘irlik $\sim 60\%$ ga kamayadi, disperslik indeksi 1,8–2,2 oralig‘ida bo‘ladi va funksional guruhlarining paydo bo‘lishi IQ spektroskopik tahlillar orqali isbotlandi. Natijada, polimer-bitum kompozitsiyasi yuqori darajada gomogen, elastik va reologik jihatdan barqaror bo‘ladi.

Kalit so‘zlar: Polipropilen, destruksiya, termoplast, elastomer, blok polimer, initsiatsiya, propagatsiya, terminatsiya, IQ spektroskopiya.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС ТЕРМООКСИТЕЛЬНОЙ ДЕСТРУКЦИИ ПОЛИПРОПИЛЕНА МАРКИ JM-380

**Бабаджанов
Джасурбек Эгамович**

Старший преподаватель,
Каракалтакский
государственный университет
имени Бердаха,
Нукус, Узбекистан

**Мавлонов Шохрух
Бобохон угли**

Доктор философии по
техническим наукам, доцент,
Бухарский государственный
технический университет,
Бухара, Узбекистан

**Хаитов Руслан
Рустамджонович**

Доктор технических наук,
старший научный сотрудник,
Бухарский государственный
технический университет,
Бухара, Узбекистан

Аннотация. В данной статье комплексно изучено влияние различных факторов - температуры, времени, окислительной среды, скорости перемешивания и стабилизаторов - на процесс термоокислительной деградации полипропилена марки JM-380. В результате, для термоокислительной деградации полипропилена марки JM-380 были оценены следующие оптимальные условия: температура - $300 \pm 10^{\circ}\text{C}$, время обработки - 30-40 минут, среда - кислородная атмосфера ($\geq 15\%$). В процессе деградации, осуществляемой на основе этих параметров, молекулярная масса уменьшается на $\sim 60\%$, индекс дисперсности находится в пределах 1,8-2,2, а появление функциональных групп доказано ИК-спектроскопическим анализом. В результате полимер - би-

тумная композиция становится высоко гомогенной, эластичной и реологически стабильной.

Ключевые слова: Полипропилен, деструкция, термопласт, эластомер, блок-полимер, инициация, распространение, терминация, ИК-спектроскопия.

STUDY OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE THERMO- OXIDATIVE DEGRADATION PROCESS OF JM-380 GRADE POLYPROPYLENE

**Babadjanov Jasurbek
Egamovich**

Senior Lecturer, Berdaq
Karakalpak State University,
Nukus, Uzbekistan

**Mavlonov Shohrukh
Boboxon ugli**

PhD in Technical Sciences,
Associate Professor, Bukhara State
Technical University,
Bukhara, Uzbekistan

**Khaitov Ruslan
Rustamjonovich**

Doctor of Technical Sciences,
Senior Researcher, Bukhara State
Technical University,
Bukhara, Uzbekistan

Abstract. In this article, the influence of various factors - temperature, time, oxidizing medium, mixing speed, and the participation of stabilizers - on the thermooxidation process of JM-380 polypropylene was comprehensively studied. As a result, the following conditions were considered optimal for thermo-oxidative destruction of JM-380 polypropylene: temperature - $300 \pm 10^\circ\text{C}$, processing time - 30-40 minutes, medium - oxygen atmosphere ($\geq 15\%$). In the process of destruction carried out on the basis of these parameters, the molecular weight decreases by $\sim 60\%$, the dispersity index is in the range of 1.8-2.2, and the appearance of functional groups is proven by IR spectroscopic analysis. As a result, the polymer-bitumen composition is highly homogeneous, elastic, and rheologically stable.

Keywords: Polypropylene, destruction, thermoplastic, elastomer, block polymer, initiation, propagation, termination, IQ spectroscopy.

Kirish. Polimer-bitum kompozitsiyalarini yaratishda polimerlarning molekulyar massasidan tashqari bir qator fizik-kimyoviy va struktura xususiyatlari ham muhim ahamiyatga ega [1]. Polimerning tabiati, ya'ni u elastomer, plastomer yoki termoplastik elastomer bo'lishi, kompozitsiyaning reologik va eksploatatsion xossalariga bevosita ta'sir ko'rsatadi [2]. Elastomerlar bitumga yuqori elastiklik, past haroratda yorilishga bardoshlilik va eskirishga chidamlilikni beradi, plastomerlar esa yuqori haroratlarda deformatsiyaga qarshi turg'unlikni oshiradi [3]. Polimerning kimyoviy tarkibi va undagi funksional guruhlarining mavjudligi, ayniqsa qutbli guruhlar (masalan, $-\text{OH}$, $-\text{COOH}$), polimerning bitum bilan o'zaro ta'sir darajasini belgilaydi va shu orqali gomogenlikni ta'minlaydi [4]. Termik xususiyatlar ham muhim bo'lib, polimerning yumshash va termik barqarorlik haroratlari bitumga aralashtirish jarayonidagi samaradorlikka bevosita ta'sir ko'rsatadi [5]. Polimerning eruvchanligi va bitumda bir xil dispersiyalanish qobiliyati – kompozitsiyaning barqarorligi, faza ajralishining oldini olish va

saqlanish muddatiga bevosita ta'sir qiladi. Bundan tashqari, polimerning mexanik xossalari, jumladan elastiklik moduli, cho'zilish darajasi va qattiqligi, kompozitsiyaning mustahkamligini, haroratga bog'liq deformatsiyalarga chidamliligini belgilaydi [6].

Materiallar va usullar. Uz-Kor Gas Chemical qo'shma korxonasi tomonidan ishlab chiqarilgan JM-380 markali blok-polipropilen yuqori etilen tarkibli yuqori zarbaga chidamli sopolimer bo'lib, uning fizik-mexanik ko'rsatkichlari 1-jadval keltirilgan.

Ushbu material ultra yuqori erish tezligi (Melt Flow Rate) - 55–65 g/10min ko'rsatkichiga ega bo'lib, yaxshi boshqariladigan reologiya va o'rtacha zarba mustahkamligi bilan ajralib turadi. JM-380 polimerining zichligi 0,85–0,95 g/sm³, cho'zilishdagi uzilishga chidamliligi 30%, egilish moduli 11000 kgf/sm², shuningdek, 23°C da zarba mustahkamligi 5 kgf·sm/sm va 90°C haroratda issiqlik deformatsiyasiga chidamlilik bilan tavsiflanadi.

Polipropilenning termooksidlovchi destruksiyasi jarayoni tashqi parametrlarning -

xususan, harorat, kislorod kontsentratsiyasi va vaqt davomiyligi o'zgarishiga sezilarli darajada bog'liq bo'lib, bu omillar jarayon natijalariga, ya'ni hosil bo'ladigan mahsulotning funksional guruhlar bilan boyitilganligiga va molekulyar massaning kamayish darajasiga to'g'ridan-to'g'ri ta'sir ko'rsatadi. Modifikatsiyalangan bitum kompozitsiyasini olish uchun SM-380 markali polipropilen dastlab termooksidlovchi destruksiyaga uchratiladi. Bu jarayon polimer molekularining parchalanishiga, oksidlangan funksional guruhlarining shakllanishiga va reaktiv segmentlar hosil bo'lishiga olib keladi. Termooksidlovchi destruksiya jarayoni 300 ± 10 °C haroratda, 15–21% kislorodli atmosferada, 35 daqiqa davomida olib boriladi. Bu sharoitda zanjir uzilishi, peroksidlarning parchalanishi va karbonil hamda gidroksil guruhlarining shakllanishi sodir bo'ladi. Aralashtirish 200 rpm tezlikda amalga oshiriladi, bunda polimer zarralarining sirtida faol oksidlanish kechib, 1–2 mm hajmdagi zarrachalarda destruksiya bir tekis yuz beradi.

1-jadval

Fizik-mexanik xossalari

Bo'lim	Sinov usullari	Nominal qiymatlar
Fizik		
Zichlik (gradient usuli bilan)	ASTM D 1505	g/sm ³ - 0,85–0,95
Eruvchan oqim tezligi (MFR, Melt Flow Rate)	ASTM D 1238	g/10 daqiqa - 55–65
Mexanik		
Cho'zilishdagi (yoyilish chegarasida) mustahkamlik, min.	ASTM D 638	kgf/sm ² - 240
Uzilishdagi cho'zilish, min.	ASTM D 638	% - 30
Egilish moduli, min.	ASTM D 790	kgf/sm ² - 11000
Zarba		
Izod zarba mustahkamligi (23 °C), min.	ASTM D 256	kgf·sm/sm - 5,0
Izod zarba mustahkamligi (–10 °C), min.	ASTM D 256	kgf·sm/sm - 3,0
Issiqlik xossalari		
Issiqlik ta'sirida deformatsiya harorati (4,6 kgf/sm ²), min.	ASTM D 648	°C - 90

Natijalar va ularning muhokamasi.

Polipropilenning termooksidlanish destruksiyasi yuqori haroratlarda (odatda 270–320°C) va kislorod ishtirokida sodir bo'ladigan erkin radikal zanjirli mexanizmga asoslanadi. Jarayon uch bosqichda kechadi: initsiatsiya (boshlanish), propagatsiya (rivojlanish) va terminatsiya (to'xtash).

Initsiatsiya bosqichida polipropilen zanjiri-

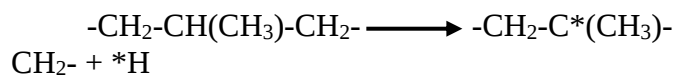
ridagi metilen yoki metil guruhlaridagi C–H bog'lari termik energiya ta'sirida uzilib, erkin radikallar (R•) hosil bo'ladi. Kislorod molekulari ushbu radikallar bilan reaksiyaga kirishib, peroksid radikallar (ROO•), so'ngra gidroperoksidlar ****(ROOH)****ni hosil qiladi. Gidroperoksidlar issiqlik ta'sirida parchalanib, ikkilamchi radikallar hamda kislorodli guruhlariga ega molekular paydo bo'lishiga olib keladi: karbonil (–C=O), karboksil (–COOH), gidroksil (–OH) va boshqa funksional guruhlar.

Propagatsiya bosqichida hosil bo'lgan radikallar zanjirli tarzda boshqa polimer segmentlari bilan reaksiyaga kirishadi; natijada yangi radikallar paydo bo'ladi va zanjir davom etadi. Terminatsiya bosqichida esa ikki yoki undan ortiq radikal o'zaro birikib, neytral mahsulotlar hosil qiladi va reaksiya to'xtaydi.

Destruksiya jarayonida polimerning molekulyar massasi kamayadi, zanjir uzunligi qisqaradi va uchlarida faol oksidlangan guruhlariga ega segmentlar hosil bo'ladi. Ushbu oksidlangan strukturalar bitumdagi aromatik komponentlar hamda malten fraksiyalari bilan mustahkam fizik-kimyoviy bog'lanishlar hosil qilib, gomogen dispers tizim shakllanishiga zamin yaratadi. Shuningdek, kislorodli funksional guruhlar bitumning qattiq va yumshoq fraksiyalari bilan vodorod bog'lari orqali o'zaro ta'sirlashib, modifikatsiyalangan kompozitsiyaning mexanik va reologik barqarorligini ta'minlaydi.

1. Initsiatsiya – erkin radikallarning hosil bo'lishi:

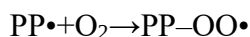
Yuqori harorat ta'sirida polipropilenning metin yoki metil guruhlaridagi C–H bog'lari uzilib, erkin radikallar hosil bo'ladi:



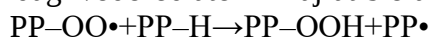
Bu bosqichda hosil bo'lgan radikal (PP•) keyingi bosqichlarda kislorod bilan o'zaro ta'sirga kirishadi.

2. Propagatsiya – radikal kislorod bilan reaksiyaga kirishadi:

Atmosferadagi kislorod (O₂) erkin radikal bilan reaksiyaga kirishib, peroksid radikalini hosil qiladi:



Bu peroksid radikal boshqa polimer zanjiridagi vodorod atomini ajratib oladi:



Natijada yangi gidroperoksid va yangi erkin radikal hosil bo'ladi, ya'ni zanjir davom etadi.

3. Gidroperoksidning parchalanishi:

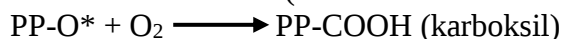
Gidroperoksidlar issiqlik ta'sirida beqaror bo'lib, parchalanadi va yana faol radikallar hosil qiladi:



Bu radikallar polimer zanjirlarini uzishga sabab bo'ladi, ya'ni destruksiya faollashadi.

4. Oksidlangan funktsional guruhlarining shakllanishi:

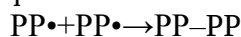
Parchalanish davomida kislorod bilan bog'langan segmentlar karbonil ($-C=O$), karboksil ($-COOH$), gidroksil ($-OH$) va alkoksil ($-OR$) guruhlariga aylanadi.



Bu funktsional guruhlar polimer-bitum aralashmasida bitumning aromatik va polar komponentlari bilan bog'lanishga kirishib, dispersiyalanish va yopishish (adageziya) xossalarini yaxshilaydi.

5. Terminatsiya – zanjirli reaksiyalarning tugashi:

Radikallar o'zaro birikib, neytral molekullar hosil qiladi:

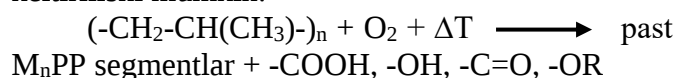


yoki



Bu bosqichda reaksiya zanjiri to'xtaydi.

Polipropilenning termooksidlanish destruksiya natijasida quyidagicha umumiy tenglama keltirilishi mumkin:



Termooksidlovchi destruksiya jarayoni erkin radikal zanjirli mexanizm asosida boradi. Bu jarayon natijasida molekulyar massa kamayadi, struktura qisqaradi va oksidlangan faol guruhlariga ega fragmentlar hosil bo'ladi. Ushbu fragmentlar bitumga qo'shilganda, kompozitsiyaning gomojenligi, mexanik barqarorligi va issiqlik qarshiligi sezilarli darajada yaxshilanadi. Ayniqsa, gidroperoksidlar va karbonil guruhlar bitum komponentlari bilan kuchli o'zaro ta'sirga kirishadi va shu bilan fizik-kimyoviy uyg'unlikni ta'minlaydi hamda, termooksidlovchi destruksiya jarayoni erkin radikallar asosida kechadigan, funktsional guruhlar hosil bo'lishiga olib keluvchi, fazoviy barqarorlikni

ta'minlaydigan muhim bosqich hisoblanadi.

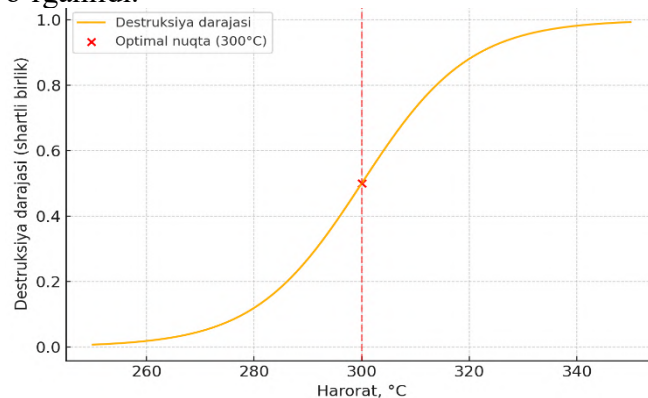
Yuqoridagi barcha omillar polipropilenning strukturaviy o'zgarishiga, molekulyar parchalanish darajasiga, oksidlangan guruhlarning shakllanishiga va natijada polimer-bitum kompozitsiyasining sifati va barqarorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

2-jadval

Destruksiya darajalari va ularning tavsifi

Destruksiya darajasi	Tavsifi
0.0 – 0.2	Destruksiya boshlangan, molekulyar o'zgarish juda past
0.3 – 0.5	O'rtacha darajadagi destruksiya, zanjirlar sezilarli qisqargan
0.6 – 0.8	Yuqori destruksiya: reaktiv fragmentlar ko'p, MFI kuchli oshgan
0.9 – 1.0	Juda kuchli destruksiya, tuzilma deyarli to'liq parchalangan

Shu bois, destruksiya jarayonida bu omillarni to'g'ri tanlash va ularni muvozanatli nazorat qilish juda muhim hisoblanadi shuningdek yuqoridagi tashqi omillar destruksiya darajasiga (molekulyar massa va tarqalish koeffitsientini aniqlash) ta'siri o'rganildi.

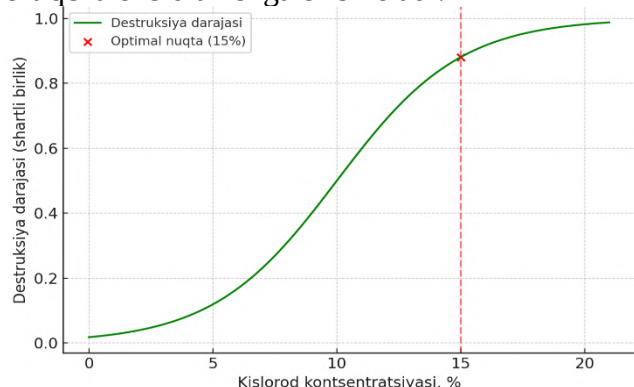


1-rasm. JM-380 markali polipropilenning destruksiyaning darajasiga haroratning ta'siri.

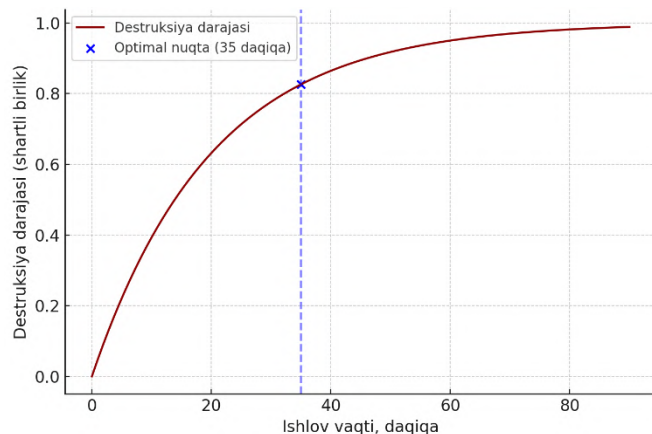
Termooksidlovchi destruksiyaning ilmiy asosda o'rganish va grafik tahlillar asosida baholash natijasida polipropilen (JM-380 markali) uchun optimal sharoitlar aniq belgilandi. Haroratning destruksiya darajasiga ta'sirini ko'rsatuvchi grafikdan ko'rinadiki, 300 °C atrofida destruksiya jarayoni eng faollashgan holatda kechadi. Bu harorat oralig'ida erkin radikallar faollashadi, gidroperoksidlar shakllanadi va polimer zanjirlari nazorat ostida parchalanadi. Shuningdek, 270°C dan past haroratda destruksiya sust kechadi, 320°C

dan yuqorida esa kuchli oksidlanish natijasida turli xil mahsulotlar va uglerodlanish holatlari kuzatilishi ehtimoli yuqori hisoblanadi.

Kislorod konsentratsiyasining destruksiya ta'sirini ifodalovchi grafikdan esa ma'lum bo'ldiki, 15% atrofida kislorod miqdori (tabiiy havo sharoiti) destruksiya uchun optimal hisoblanadi. Aynan shu sharoitda erkin radikallar kislorod bilan tezda reaksiyaga kirishib, peroksid va oksidlangan guruhlarni hosil qiladi, bu esa molekulyar parchalanish va bitum bilan kelgusidagi yaxshi integratsiyalashuv uchun zarur shart-sharoitdir. Kislorodning yetarli bo'lmaganligi (5% dan past) destruksiyani susaytiradi, ortiqcha kislorod esa ortiqcha oksidlanishga olib keladi.



2-rasm. JM-380 markali polipropilenning destruksiyalanish darajasiga kislorod konsentratsiyasining ta'siri.



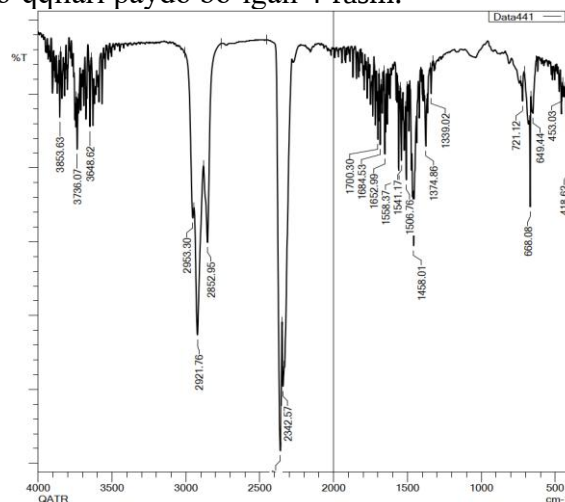
3-rasm. JM-380 markali polipropilenning destruksiyalanish darajasiga vaqt davomiyligining ta'siri.

Destruksiya davomiyligining destruksiya darajasiga ta'sirini ko'rsatuvchi grafikdan ko'rinib turibdiki, jarayon boshlanishida destruksiya juda

faollashadi va 30–35 daqiqada deyarli maksimal qiymatga yetadi. Shu sababli 35 daqiqalik destruksiya vaqti optimal deb belgilandi. 20 daqiqagacha bo'lgan muddatda polimer zanjirlarining parchalanishi hali to'liq kechmaydi, 50 daqiqadan oshsa esa ortiqcha oksidlanish va radikal parchalanish natijasida reaktiv fragmentlar degradatsiyalanib ketishi mumkin.

Yuqoridagi barcha grafik tahlillarni umumlashtirgan holda, JM-380 markali polipropilenni termooksidlovchi destruksiyalash uchun quyidagi sharoitlar optimal deb baholandi: harorat – $300 \pm 10^\circ\text{C}$, ishlov vaqti – 30–40 daqiqa, muhit – kislorodli atmosfera ($\geq 15\%$). Ushbu parametrlar asosida amalga oshirilgan destruksiya jarayonida molekulyar og'irlik $\sim 60\%$ ga kamayadi, disperslik indeksi 1,8–2,2 oralig'ida bo'ladi va funksional guruhlarning paydo bo'lishi IQ spektroskopik tahlillar orqali isbotlandi. Natijada, polimer-bitum kompozitsiyasi yuqori darajada gomogen, elastik va reologik jihatdan barqaror bo'ladi.

Xulosa. Polipropilenning termooksidlovchi destruksiyasidan so'ng hosil bo'lgan mahsulotning kimyoviy tarkibi va strukturaviy o'zgarishlarini aniqlash maqsadida infraqizil spektroskopiya IQ (FTIR Fourier-transform infrared) usuli qo'llanildi. Ushbu usul polimer molekulasida tarkibida hosil bo'lgan funksional guruhlarni aniqlashda ishonchli va sezgir analitik vosita hisoblanadi. Spektral tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, destruksiyalangan namunalar spektrida oksidlangan funksional guruhlarga xos bo'lgan bir nechta yutulish cho'qqilari paydo bo'lgan 4-rasm.



4-rasm. Termooksodestruksiyalangan SM-380 polipropilenning IQ spektrlari.

Infraqizil spektrda $1720\text{--}1740\text{ sm}^{-1}$ oralig'ida kuchli yutulish cho'qqilari aniqlanib, ular karbonil ($\text{C}=\text{O}$) guruhlariga xos bo'lib, polimer zanjirlarining oksidlanishi natijasida keton, aldegid yoki karboksil kislotalar hosil bo'lganligini ko'rsatadi. Bu cho'qqi termooksidlovchi destruksiya jarayonining chuqur oksidlanish bilan kechganligini tasdiqlaydi. Shuningdek, spektrda $3400\text{--}3500\text{ sm}^{-1}$ oralig'ida aniqlangan keng yutulish cho'qqisi gidroksil ($-\text{OH}$) guruhlarining mavjudligi, bu esa spirtlar yoki gidroperoksidlar hosil bo'lganini bildiradi. Bu guruhlarining mavjudligi polimer segmentlarining kimyoviy faolligi oshganligini bildiradi. Bundan tashqari, $1100\text{--}1300\text{ sm}^{-1}$ diapazonida aniqlangan $\text{C}-\text{O}$ bog'lariga xos cho'qqilar efir, murakkab efir yoki oksidlangan zanjirlarning mavjudligini ko'rsatadi. Bu strukturaviy birliklar termooksidlanish jarayonida polimerning kimyoviy parchalanishi natijasida hosil bo'lganligi ehti-

moldan holi emas. Polimer zanjirining asosiy strukturasi, ya'ni alifatik $-\text{CH}_2-$ va $-\text{CH}_3$ guruhlari bilan bog'liq bo'lgan $2850\text{--}2950\text{ sm}^{-1}$ oralig'idagi $\text{C}-\text{H}$ cho'zilish yutulish cho'qqilari destruksiya jarayonidan so'ng ham saqlanib qolgan. Bu holat shuni bildiradiki, polimer zanjirlarining ba'zi qismlari to'liq parchalanmagan va asosiy alifatik tuzilma qisman saqlangan. Umuman olganda, IQ spektrlari tahlil natijalari destruksiyalangan polipropilen tarkibida oksidlangan funksional guruhlar – karbonil, gidroksil va $\text{C}-\text{O}$ segmentlari shakllanganligini isbotlaydi. Bu guruhlar bitum tarkibidagi aromatik va qubtli komponentlar bilan fizik-kimyoviy o'zaro ta'sirga kirishib, modifikatsiyalangan kompozitsiyaning gomogenligi, dispersiyalanuvchanligi va barqarorligini sezilarli darajada oshiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Shi Chen Guang // Evaluation of Self-healing Rate of Polymer Modified Asphalt Based on Surface Free Energy// World Transport Convention — 2018/ Highway Engineering/ Beijin, June 2018, p. 179.
2. A. Tabaković, E. Schlangen// Self-Healing Technology for Asphalt Pavements / Self-Healing, Advances in Polymer Science 273, Springer/ 2015.
3. S. O. Ilyin, M. P. Arinina, Yu. S. Mamulat, A. Y. Malkin, V. G. Kulichikhin // Rheological properties of road bitumens modified with polymer and solid nanosized additives// July 2014 Colloid Journal 76(4):425–426.
4. Козлов Г. В., Яновский Ю. Г., Липатов Ю. С. Фрактальный анализ структуры и свойств межфазных слоев в дисперсно-наполненных полимерных композитах // Механика композиционных материалов и конструкций. — 2002. — 8, № 1. — С. 111–112.
5. Коренькова С.Ф., Давиденко О.В. Роль органоминеральных комплексов в структуре битумокomпозиционных вяжущих // Строительные материалы. - 1998. - №11.
6. CHEN, J.S. and C.H. LIN, 1999. Construction of Test Road to Evaluate Engineering Properties of Polymer-Modified Asphalt Binders. International Journal of Pavement Engineering, 01 Feb 2007.

УДК: 661.862.321:628.162

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.36

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОАГУЛЯНТА ИЗ МЕСТНОГО СЫРЬЯ, СОДЕРЖАЩЕГО ОКСИД АЛЮМИНИЯ



**Исаева Нурхон
Фархатовна**

Доктор филологии по техническим
наукам, старший научный
сотрудник Ташкентского научно-
исследовательского института
химической технологии,
Ташкент, Узбекистан
E-mail: nurhonisaeva@gmail.com
ORCID ID: 0000-0001-8513-6975



**Каримов Маъсуд
Убайдулла угли**

Доктор технических наук,
профессор, Ташкентского
научно-исследовательского
института химической
технологии,
Ташкент, Узбекистан



**Джалилов Абдулахат
Турабович**

Доктор химических наук,
профессор, академик Академии
наук Республики Узбекистан
Директор Ташкентского научно-
исследовательского института
химической технологии,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В данной научной работе рассматриваются экологические и технологические аспекты утилизации алюмосодержащих отходов нефтегазовой и химической промышленности. Основное внимание уделено синтезу коагулянта — полиалюминия хлорида (ПАХ) — из местного сырья, содержащего оксид алюминия. Разработанная технология включает щелочной гидролиз с последующим кислотным осаждением, что позволяет эффективно использовать техногенные отходы и снизить нагрузку на окружающую среду. Проведены ИК-спектроскопические и рентгеноструктурные исследования полученного коагулянта, подтверждающие его химическую природу и аморфную структуру. Работа направлена на решение актуальных задач водоочистки, ресурсосбережения и внедрения экологически чистых технологий.

Ключевые слова: полиалюминий хлорид, коагулянт, алюмосодержащие отходы, очистка сточных вод, оксид алюминия, натрий алюминат, ИК-спектроскопия, XRD, экологическая безопасность.

TARKIBIDA ALYUMINIY OKSIDI BO'LGAN MAHALLIY XOMASHYODAN KOAGULYANT OLIISH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH

**Isayeva Nurxon
Farxatovna**

Texnika fanlari bo'yicha falsafa
doktori, Toshkent kimyo-
texnologiya ilmiy-tadqiqot instituti
katta ilmiy xodimi,
Toshkent, O'zbekiston

**Karimov Ma'sud
Ubaydulla o'g'li**

Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy-
tadqiqot instituti texnika fanlari
doktori, professor,
Toshkent, O'zbekiston

**Jalilov Abdulahat
Turabovich**

Kimyo fanlari doktori, professor,
O'zbekiston Respublikasi Fanlar
akademiyasi akademigi Toshkent
kimyo-texnologiya ilmiy-tadqiqot
instituti direktori,
Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya. Ushbu ilmiy ishda neft-gaz va kimyo sanoati aluminiy saqlovchi chiqindilarini utilizatsiya qilishning ekologik va texnologik jihatlarini ko'rib chiqilgan. Asosiy e'tibor aluminiy oksidi saqlovchi mahalliy xomashyodan polialuminiy xlorid (PAX) koagulyantini sintez qilishga qaratilgan. Ishlab chiqilgan texnologiya ishqoriy gidroliz va keyinchalik kislotali ishlov bosqichlarini o'z ichiga oladi, bu esa texnogen chiqindilarni samarali qo'llash va atrof-muhit yukini kamaytirish imkonini beradi. Olingan

koagulyantning kimyoviy tabiati va amorf tuzilishi IK-spektroskopiya va rentgenostruktur tahlillar orqali tasdiqlangan. Ushbu ish suvni tozalash, resurslarni tejash va ekologik toza texnologiyalarni joriy etishga qaratilgan dolzarb muammolarni hal etishga yo‘naltirilgan.

Kalit so‘zlar: polialuminiy xlorid, koagulyant, aluminiy saqllovchi chiqindilar, oqova suvlarni tozalash, aluminiy oksidi, natriy alyuminat, IK-spektroskopiya, XRD, ekologik xavfsizlik.

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR OBTAINING A COAGULANT FROM LOCAL RAW MATERIALS CONTAINING ALUMINUM OXIDE

**Isaeva Nurkhon
Farkhatovna**

Doctor of Philosophy in Technical
Sciences, Senior Researcher at the
Tashkent Chemical Technology
Research Institute,
Tashkent, Uzbekistan

**Karimov Masud
Ubaydulla ugli**

Doctor of Technical Sciences,
Professor, Tashkent Chemical
Technology Research Institute,
Tashkent, Uzbekistan

**Djalilov Abdulakhat
Turabovich**

Doctor of Chemical Sciences,
Professor, Academician of the
Academy of Sciences of the
Republic of Uzbekistan, Director of
the Tashkent Chemical Technology
Research Institute,
Tashkent, Uzbekistan

Abstract. This scientific work examines the environmental and technological aspects of the utilization of aluminum-containing waste from the oil, gas, and chemical industries. The main focus is on synthesizing the coagulant — polyaluminum chloride (PAC) — from local raw materials containing aluminum oxide. The developed technology involves alkaline hydrolysis followed by acidic precipitation, enabling the efficient use of industrial waste and reducing environmental burden. Infrared spectroscopy (IR) and X-ray diffraction (XRD) studies were conducted on the obtained coagulant, confirming its chemical nature and amorphous structure. The study addresses current challenges in water purification, resource conservation, and the implementation of environmentally friendly technologies.

Keywords: polyaluminum chloride, coagulant, aluminum-containing waste, wastewater treatment, aluminum oxide, sodium aluminate, IR spectroscopy, XRD, environmental safety.

Введение. В мире ведутся научные исследования, направленные на уменьшения экологического ущерба химической промышленности на природу, все больше уделяется внимание по внедрению более чистых технологий, улучшаются системы переработки отходов и соблюдаются все более строгие экологические стандарты, безотходные технологии помогают сократить негативное влияние на окружающую среду. Рациональное использование сырьевых ресурсов является в настоящее время актуальной экономической и экологической проблемой и одним из вариантов утилизации алюмосодержащих отходов, это их повторное вовлечение в тот или иной технологический процесс. В нашей стране уделяется большое внимание внедрению инновационных технологий, реализации мер по охране окружающей среды и развитию производственной индустрии.

Основными источниками промышленных

отходов являются горнодобывающая промышленность, металлургия, химическая промышленность, энергетика (в 2021 году угольные электростанции произвели около 1,2 млрд тонн золы) строительная отрасль, сельское хозяйство и пищевая промышленность [1].

Среди промышленных отходов значительную часть составляют опасные отходы. Ежегодно в мире образуется около 400 млн тонн опасных отходов (ртуть, свинец, кадмий, нефть и нефтепродукты). Наибольшими производителями таких отходов являются развитые страны (США, Китай, ЕС). Регионы с наибольшими объемами опасных отходов являются такие страны как, Китай - лидер по объемам промышленных отходов (до 3,4 млрд тонн ежегодно), США - более 700 млн тонн ежегодно, Европейский Союз - в 2021 году общий объем промышленных отходов составил около 950 млн тонн. [2-3]. Водные загрязнения в Узбекистане — серьезная экологическая проблема, связанная

с нехваткой водных ресурсов, ухудшением их качества и интенсивной хозяйственной деятельностью. Основными источниками загрязнений являются сельское хозяйство, промышленность и бытовые сточные воды. Основные причины водных загрязнений в Узбекистане - сельское хозяйство, промышленные отходы, бытовые сточные воды, экологические катастрофы. Таким образом, разработка технологии переработки отработанных вредных выбросов производства в Узбекистане, поддержит потребности различных отраслей промышленности и способствует развитию национальной экономики [4-5]. Адсорбция и коагуляция при очистке сточных вод. Потребность в воде в бытовых и промышленных целях продолжает расти с каждым годом. В настоящее время мир сталкивается с водным кризисом из-за к промышленной глобализации, увеличению жилых и коммерческих зон, а также сельскохозяйственных угодий, что приводит к огромному производству сточных вод. Согласно мировым тенденциям, в странах с высоким уровнем дохода очистка муниципальных и промышленных сточных вод составляет около 70%, в странах с уровнем дохода выше среднего и ниже среднего проценты снижаются до 38 и 28% соответственно. Кроме того, в странах с низким уровнем дохода только 8% подвергаются какой-либо очистке, а более 80% всех сточных вод сбрасываются без очистки (WWAP (Организация Объединенных Наций Всемирная программа оценки водных ресурсов (World Water Assessment Programme), [6-7]. Коагуляция — это процесс, при котором загрязняющие вещества, взвешенные частицы, попадают в осадок посредством столкновения с противоположными частицами и образуют агрегат, образуя нерастворимый агрегатный комплекс [8-10]. В процессе коагуляции присутствуют коллоидные частицы, которые заряжены отрицательно, что вызывает отталкивание. Коагулянт добавляется для стабилизации коллоидных частиц, чтобы не было силы отталкивания. Обычно добавляемый коагулянт представляет собой полиэлектролит, который приводит к тому, что дзета-потенциал коллоида близок к нулю. Поэтому этот процесс

называется механизмом нейтрализации заряда [11].

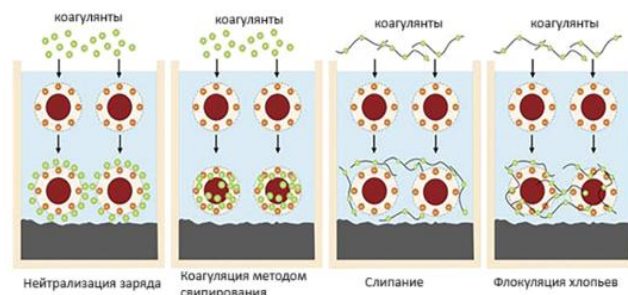


Рис.1. Механизм процесса флокуляции/коагуляции.

Методология исследования. Для получения коагулянта полиалюминия хлорида, в реактор загружают оксид алюминия - отход нефтегазовой промышленности и 50%-ный водный раствор гидроксида натрия в молярном соотношении к оксиду алюминия. Затем температуру в реакторе повышают до 180°C и реакцию поддерживают при этой температуре до 3 часов. Затем реакционную смесь охлаждают и разбавляют водой. Разбавленную реакционную смесь нейтрализуют (осаждают) в присутствии разбавленных кислот. Полученный осадок несколько раз промывают и сушат. Полученный гидроксид алюминия можно подвергнуть реакции с соответствующими разбавленными кислотами для получения желаемой соли полихлорида алюминия. Необходимо использовать концентрированный раствор NaOH, чтобы ускорить реакцию. Обычно раствор NaOH используется в соотношении 2:1 или 3:1 по отношению к Al_2O_3 . После реакции образуется натрий алюминат в виде раствора, который может быть использован в различных химических процессах, таких как получение алюминия хлорида или для очистки воды. Раствор натрия алюмината используется в качестве основного компонента для получения полиалюминия хлорида, важным этапом в производстве коагулянта. Использование натрия алюмината с примесями хлора в качестве коагулянта для очистки воды является эффективным методом, который позволяет удалять загрязнители и улучшать качество воды. Для получения коагулянтов полиалюминий хлорид (ПАХ), мы использовали сырье -оксид алюминия Al_2O_3 местного сырья, гидрооксид

натрия и HCl (соляная кислота), Вода, Контроль pH и температуры[12,13].

Результаты и их обсуждение. Этот ИК-спектр принадлежит соединению $AlCl_3$ (хлорид алюминия), записанному с использованием спектрометра Shimadzu. Данный спектр демонстрирует основные характеристики вибрационных мод хлорида алюминия и возможных примесей.

Основные полосы поглощения (в cm^{-1}): $2997.38\ cm^{-1}$ – возможно, связано с колебаниями примесных органических соединений (C-H растяжения), $2445.2\ cm^{-1}$ – возможно, проявление обертоновых или комбинационных мод, $1633.71\ cm^{-1}$ – вероятно, деформационные колебания молекулы воды (H-O-H). Это указывает на присутствие влаги в образце, $1128.36\ cm^{-1}$ – возможно, связано с колебаниями Al-Cl, $825.53\ cm^{-1}$ – характеристическая полоса хлорида алюминия, $624.94\ cm^{-1}$, $597.53\ cm^{-1}$, $513.57\ cm^{-1}$ – соответствуют колебаниям Al-Cl в различных структурных модификациях. ИК-спектр полихлорида алюминия подтверждает его полимерную природу, сочетая колебания Al-Cl, Al-OH и Al-O. Основные отличия PAC от $AlCl_3$ в спектре - наличие интенсивных полос O-H ($3400\ cm^{-1}$ – $2997.38\ cm^{-1}$) и H-O-H (1633 – $1650\ cm^{-1}$), свидетельствующих о гидролизе. Ослабление и расширение полос Al-Cl, что указывает на образование полимерных структур. 1100 – $1000\ cm^{-1}$ – растяжения Al-OH, характерные для гидролизованных алюминиевых комплексов, 850 – $600\ cm^{-1}$ – растяжения Al-Cl, определяющие основные связи в PAC, 500 – $400\ cm^{-1}$ – колебания Al-O, характерные для оксидных форм алюминия[14,15].

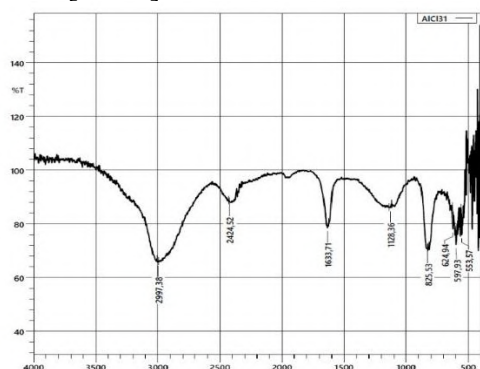


Рис.2. ИК-спектр синтезированного хлорида алюминия $AlCl_3$.

На представленной рентгеновской дифрактограмме (XRD) образца, а (рис. 3. а) полиалюминия хлорид из оксида алюминия (ШГХК) наблюдаются широкие и низкоинтенсивные пики, характерные для аморфных или слабо кристаллизованных веществ. Положение пиков (2θ): от 36° до 3° , с наиболее выраженными максимумами в области 14 – 20° и 25 – 30° , включая пики при: 14.16° , 14.87° , 15.87° , 16.87° , 18.22° , 18.93° , 20.13° , 22.27° , 25.4° , 26.7° , 27.0° , 29.5° .

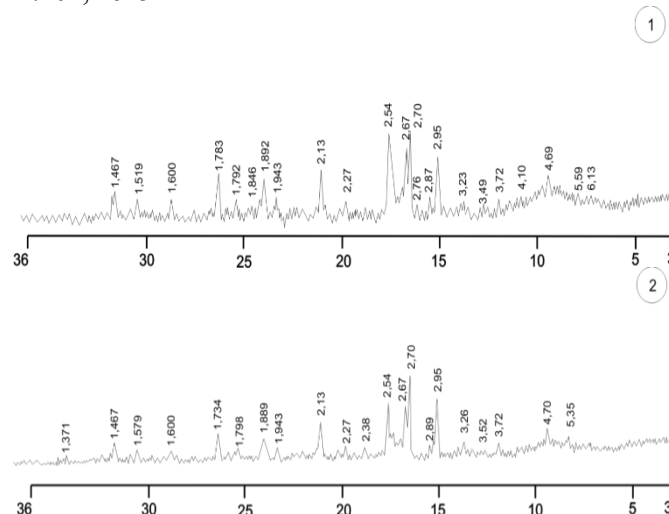


Рис.3. Дифрактограммы (XRD) синтезированных коагулянтов.

- 1а) полиалюминий хлорид из оксида алюминия (ШГХК),
 1б) полиалюминий хлорид из оксида алюминия (БНПЗ),
 2а) полиалюминия хлорид из оксида алюминия (ШГХК),
 2б) полиалюминий хлорид, полученный из оксида алюминия (БНПЗ).

Интенсивность пиков невысокая, что подтверждает низкую степень кристалличности. Некоторые пики (например, 14.87° , 18.93° , 25.4° , 29.5°) могут указывать на остаточные кристаллические фазы, возможно, оксидов алюминия или промежуточных продуктов гидролиза. Данный образец полиалюминия хлорида, полученного из оксида алюминия (ШГХК), обладает аморфной структурой, что типично для ПАХ-коагулянтов, полученных в условиях частичной гидратации. Такой материал часто обладает высокой реакционной способностью в водной среде за счёт активной поверхности и неупорядоченной структуры. Рентгенограмма образца б полиалюминий хлорид, полученный из оксида алюминия (БНПЗ) (Рис. 3.б). Дифрактограмма образца б характеризуется

слабо выраженными и широкими пиками, что свидетельствует о преимущественно аморфной природе материала с присутствием незначительных кристаллических фаз. Наблюдаются пики при следующих значениях 2θ : 13.7° , 14.7° , 15.8° , 17.3° , 17.9° , 19.8° , 21.3° , 22.7° , 26.7° , 27.0° , 28.9° , 29.5° , 33.2° , 35.3° и др. Данный адсорбент — местное сырьё, содержащий оксид алюминия, который поглотил ионы хлора. В процессе очистки воды используется натрий алюминат с примесями хлора, который является эффективным коагулянтом для удаления загрязняющих веществ, органических соединений и микроорганизмов. Среди них перспективным считается натрий алюминат (NaAlO_2), особенно в комбинации с хлорсодержащими компонентами, такими как ион Cl^- и натрий хлорид (NaCl). Использование натрия алюмината с примесями хлора позволяет усилить коагуляционный эффект и расширить спектр действия коагулянта.

Заключение. Представленная научная работа посвящена разработке эффективных и экологически безопасных методов утилизации алюмосодержащих отходов химической и

нефтегазовой промышленности путем синтеза коагулянта — полиалюминия хлорида (ПАХ). В контексте глобальных экологических проблем, таких как загрязнение воды и растущее количество промышленных отходов, данное исследование представляет высокую практическую и научную значимость. Проведённые исследования подтвердили возможность эффективного применения алюмосодержащих отходов нефтегазовой промышленности для синтеза полиалюминия хлорида — перспективного коагулянта для очистки сточных вод. Полученный материал обладает аморфной структурой и высоким содержанием активных компонентов, что обеспечивает его эффективность в процессах коагуляции и адсорбции. Разработанная методика утилизации отходов позволяет не только снизить их негативное воздействие на окружающую среду, но и получить продукцию с высокой добавленной стоимостью. Работа имеет важное значение для устойчивого развития, экологической модернизации производств и внедрения безотходных технологий в Узбекистане и других индустриально развивающихся регионах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таможенный кодекс Евразийского экономического союза (ТК ЕАЭС). (2020, 23 октября). Приложение № 1 к Договору о Таможенном кодексе ЕАЭС. Официальный сайт Евразийского экономического союза. <https://www.eaeunion.org/>
2. Экологические аспекты присоединения России ко Всемирной торговой организации: Доклад Всемирного банка (№ 83505-RU), с. 82.
3. Руководство по защите окружающей среды, здоровья и труда для нефтепереработки. (2007, 30 апреля). Группа Всемирного банка. <https://www.ifc.org/ehsguidelines>
4. Булатов, В. И. (2021). Отходы нефтегазового комплекса как технологический индикатор геоэкологического состояния регионов России. Энергетика и рациональное природопользование, 7(8), 46–55. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/69>
5. Ильгамова, Л. Ф. (2021). Методы утилизации нефтесодержащих сорбентов. В Исследования молодых ученых: материалы XXIX Междунар. науч. конф. (Казань, декабрь 2021 г.) (с. 7–12). Казань: Молодой ученый. <https://moluch.ru/conf/stud/archive/412/16825>
6. Sukmana, H. (2021). Adsorption and coagulation in wastewater treatment: Review. Progress in Agricultural Engineering Sciences, 17(1), 49–68. <https://doi.org/10.1556/446.2021.00029>
7. Abdelbasir, S. M., & Shalan, A. E. (2019). An overview of nanomaterials for industrial wastewater treatment. Korean Journal of Chemical Engineering, 36(8), 1209–1225.
8. Afroze, S., Sen, T. K., & Ang, H. M. (2016). Adsorption removal of zinc(II) from aqueous phase by raw and base-modified Eucalyptus sheathiana bark: Kinetics, mechanism and equilibrium study. Process Safety and Environmental Protection, 102, 336–352. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.04.009>

9. Ahmad, A. L., Idris, I., Chan, C. Y., & Ismail, S. (2015). Reclamation from palm oil mill effluent using an integrated zero-discharge membrane-based process. *Polish Journal of Chemical Technology*, 17(4), 49–55. <https://doi.org/10.1515/pjct-2015-0068>
10. Al-Sahari, M., Al-Gheethi, A. A. S., & Radin Mohamed, R. M. S. (2020). Natural coagulants for wastewater treatment: A review for application and mechanism. *B Prospects of Fresh Market Wastes Management in Developing Countries* (pp. 17–31). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42641-5_2
11. Amran, A. H., Zaidi, N. S., Muda, K., & Loan, L. W. (2018). Effectiveness of natural coagulant in coagulation process: A review. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.9), 34–37.
12. Isaeva, N. F., Ibodullaev, S., Khodjiev, R., Mirzaeva, Ye., Turdieva, D., & Mamatkulov, Sh. (2022). Complex processing of adsorbent used in the purification of hydrogen-containing gas. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 17(1), 32–45. <https://bcrec.id>
13. Mustafayev, B. J., Turdieva, D. R., Rahimov, X. B., Yunusov, M. P., Xudayberdiev, A. J., Sayidov, U. X., Maxkamov, X. M., & Isaeva, N. F. (2023). Газ ва суюкликлар таркибидаги хлорли бирикмаларни ютувчи адсорбент олиш усули [Патентная заявка № FAP 20220168]. Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги. (Талабнома келиб тушган сана: 08.06.2023; № FAP 2411).
14. Исаева, Н. Ф., Турдиева, Д. П., Искандаров, Н. Э., & Ходжиев, Р. Г. (2020, 26 ноября). Получение коагулянтов для очистки воды в процессе переработки использованных адсорбентов хлорсодержащих соединений. В Международная конференция «Наука и инновации» (г. Ташкент) (с. 127–129).
15. Исаева, Н. Ф., Ялгашев, Э., Турдиева, Д., & Мирзаева, Е. (2024). Преобразование отходов и природного сырья в адсорбенты для очистки окружающей среды от вредных веществ. *Наука и инновационное развитие*, 7(3), 8–26. ONLINE ISSN 2181-4317.

УДК: 661.81

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.37

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТРАБОТАННЫХ АДСОРБЕНТОВ, НАСЫЩЕННЫХ ХЛОРСОДЕРЖАЩИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ, ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НОСИТЕЛЕЙ И КОАГУЛЯНТОВ



Исаева Нурхон Фархатовна

Доктор философии по техническим наукам, старший научный
сотрудник Ташкентского научно-исследовательского
института химической технологии, Ташкент, Узбекистан
E-mail: nurhonisaeva@gmail.com
ORCID ID: 0000-0001-8513-6975



Каримов Маъсуд Убайдулла угли

Доктор технических наук, профессор, Ташкентского научно-
исследовательского института химической технологии,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В статье рассматривается одно из перспективных направлений инновационного развития – глубокая переработка промышленных отходов, в частности, отработанных адсорбентов, содержащих оксид алюминия. Представлен системный подход к повторному использованию таких материалов в качестве сырья для синтеза гидроксида алюминия и носителей катализаторов. Обсуждаются технологические решения по получению алюминатов и коагулянтов, включая стадии соосаждения, созревания и трансформации компонентов, а также экологические и экономические аспекты переработки. Особое внимание уделено возможностям регулирования морфологических характеристик материалов, что позволяет создавать сорбенты и катализаторы с заданными свойствами.

Ключевые слова: отработанные адсорбенты, гидроксид алюминия, алюминаты, коагулянты, оксид алюминия, техногенное сырье, рецикл, хлорсодержащие соединения.

TASHUVCHILAR VA KOAGULYANTLAR OLIISH UCHUN XLORLI BIRIKMALAR BILAN TO'YINGAN ISHLATILGAN ADSORBENTLARNI CHUQUR QAYTA ISHLASHGA INNOVATSION YONDASHUVLAR

Isayeva Nurxon Farxatovna

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, Toshkent kimyo-
texnologiya ilmiy-tadqiqot instituti katta ilmiy xodimi,
Toshkent, O'zbekiston

Karimov Ma'sud Ubaydulla o'g'li

Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy-tadqiqot instituti texnika fanlari
doktori, professor,
Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada innovatsion rivojlanishning istiqbolli yo'nalishlaridan biri — sanoat chiqindilarini, xususan, aluminiy oksidi saqllovchi ishlatilgan adsorbentlarni chuqur qayta ishlash masalalari ko'rib chiqilgan. Bunday materiallarni aluminiy gidroksidi va katalizator tashuvchilarini sintez qilish uchun xomashyo sifatida takroran ishlatishga yo'naltirilgan tizimli yondashuv taqdim etilgan. Alyuminatlar va koagulyantlar olish texnologiyasi, jumladan, birga cho'ktirish, yetilish va komponentlarni transformatsiya qilish bosqichlari hamda qayta ishlashning ekologik va iqtisodiy jihatlarini muhokama qilingan. Materiallarning morfologik xususiyatlarini boshqarish imkoniyatlariga alohida e'tibor qaratilgan bo'lib, bu belgilangan xususiyatlarga ega bo'lgan sorbentlar va katalizator-

larni yaratishga imkon beradi.

Kalit soʻzlar: ishlatilgan adsorbentlar, aluminiy gidroksidi, alyuminatlar, koagulyantlar, aluminiy oksidi, texnogen xomashyo, qayta ishlash, xlor saqlovchi birikmalar.

INNOVATIVE APPROACHES TO THE DEEP PROCESSING OF SPENT ADSORBENTS SATURATED WITH CHLORINE-CONTAINING COMPOUNDS TO OBTAIN CARRIERS AND COAGULANTS

Isaeva Nurkhon Farkhatovna

Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Senior Researcher at
the Tashkent Chemical Technology Research Institute,
Tashkent, Uzbekistan

Karimov Masud Ubaydulla ugli

Doctor of Technical Sciences, Professor, Tashkent Chemical
Technology Research Institute, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. The article discusses one of the promising areas of innovative development — the advanced processing of industrial waste, in particular, spent adsorbents containing aluminum oxide. A systematic approach is presented for the reuse of such materials as raw sources for the synthesis of aluminum hydroxide and catalyst supports. Technological solutions for the production of aluminates and coagulants are discussed, including stages of co-precipitation, aging, and component transformation, as well as the environmental and economic aspects of recycling. Special attention is given to the potential for controlling the morphological characteristics of the materials, which enables the design of sorbents and catalysts with tailored properties.

Keywords: spent adsorbents, aluminum hydroxide, aluminates, coagulants, aluminum oxide, technogenic raw materials, recycling, chlorine-containing compounds.

Введение. Одним из актуальных направлений в контексте устойчивого развития и экологической безопасности является внедрение безотходных технологий и повторное использование промышленных отходов. Отработанные адсорбенты, обогащенные оксидом алюминия, представляют собой высококачественное техногенное минеральное сырье, пригодное для синтеза новых функциональных материалов [1]. Использование отработанных адсорбентов в качестве сырья для синтеза гидроксида алюминия и последующего получения носителей катализаторов представляет собой перспективный подход к переработке промышленных отходов [2].

Существенным экономическим аспектом является переработка механически прочных гранул отработанных адсорбентов с установок риформинга, насыщенных хлорсодержащими соединениями, с последующим повторным использованием. Разрушенные гранулы адсорбентов предлагается направлять на получение востребованного сырья для производства носителей различных катализаторов и адсорбентов широкого профиля с удельной поверхностью и

морфологией, регулируемые на стадиях осаждения и созревания гидроксида алюминия. В связи с важностью процесса получения гиббсита были подробно исследованы факторы, определяющие размер частиц $Al(OH)_3$, кристаллизацию активных гидроксидов алюминия, кинетические закономерности формирования грубодисперсного гиббсита и другие аспекты осаждения различных модификаций гидроксида алюминия из натрий-алюминатных растворов. Особо отмечена роль трансформации части оксида алюминия в соответствующие алюминаты не только для эффективного удаления хлорсодержащих соединений, но и для значительного снижения образования хлорированных олигомеров, особенно при очистке водородсодержащего газа каталитического риформинга, проводимого при пониженном давлении [3]. Использование отработанных адсорбентов в качестве сырья для синтеза гидроксида алюминия позволяет получать носители катализаторов с регулируемыми текстурными характеристиками. Процесс включает стадии осаждения, созревания, сушки и растворения в кислоте. Подход также ориентирован на

создание технологий с максимальным использованием местного сырья [4,5]. Формирование носителей на основе $Al(OH)_3$ осуществляется через контролируемое осаждение из натрий-алюминатных растворов. Исследования показали, что морфология и дисперсность получаемого гиббсита зависят от температуры, времени выдержки и состава раствора. Трансформация части оксида алюминия в алюминаты способствует не только улавливанию хлорорганических соединений, но и снижает вероятность образования хлорированных олигомеров в риформинг-процессах [3].

Методология исследования. Существенным экономическим аспектом является переработка механически прочных гранул отработанных адсорбентов с установок риформинга, насыщенных хлорсодержащими соединениями, с последующим повторным использованием. Разрушенные гранулы предлагается

2. Масса соляной кислоты варьируется от 190 до 330 г, что позволяет изменять мольное соотношение $Al(OH)_3$: HCl в диапазоне от 1:1,75 до 1:3,0.

3. Объем растворов (V) колеблется от 300 до 430 cm^3 , а плотность (ρ) растворов находится в диапазоне 1,22–1,23 $г/см^3$.

4. Значение pH раствора после реакции варьируется от -0,7 до 1,8 в зависимости от условий синтеза.

Состав растворов и показатели:

1. Концентрация ионов алюминия (Al^{3+}) в растворе после синтеза достигает максимума 47,2 $г/дм^3$.

2. Общая концентрация хлорид-ионов (Cl^-) варьируется от 185 до 214 $г/дм^3$, из которых часть приходится на $NaCl$.

3. Свободная соляная кислота (HCl) остается в растворе в количестве от 33 до 62 $г/дм^3$.

Таблица 1.

Описание эксперимента по взаимодействию гидроксида алюминия с соляной кислотой

№ опыта	Исходные компоненты		Условия синтеза	Состав раствора и др. показатели после синтеза										Степень извлечения алюминия из отходов, %
	Отход, г	Кислота, г	Мольное соотношение $Al(OH)_3$: HCl	Al^{3+} , $г/дм^3$	Cl^- , общ., $г/дм^3$	Cl^- , ($NaCl$), $г/дм^3$	HCl своб., $г/дм^3$	V , $см^3$	ρ , $г/см^3$	pH	Al_2O_3 , %	Ос новность (N), %	Формула соединения	
1	200	330	1:3,0	47,0	214	25	62	430	1,22	-0,7	7,34	0	$AlCl_3$	98
2	200	290	1:2,67	47,2	205	27	40	390	1,23	1,1	7,25	5	$Al(OH)_{0,14}Cl_{2,86}$	89
3	200	275	1:2,55	46,7	202	28	38	378	1,23	1,4	6,85	5	$Al(OH)_{0,15}Cl_{2,85}$	85
4	200	230	1:2,12	42,5	191	31	35	340	1,23	1,6	6,72	5	$Al(OH)_{0,15}Cl_{2,85}$	72
5	200	190	1:1,75	40,0	185	35	33	300	1,23	1,8	6,22	5	$Al(OH)_{0,16}Cl_{2,84}$	58

направлять на получение востребованного сырья для производства носителей катализаторов и адсорбентов с удельной поверхностью и морфологией, регулируемые на стадиях соосаждения и созревания гидроксида алюминия. Предлагаемый подход позволяет сократить объёмы промышленных отходов и снизить зависимость от природных ресурсов.

Эксперименты проводились с целью получения соединений алюминия и оценки степени извлечения алюминия из отходов. Ниже приводится описание основных параметров экспериментов.

Исходные компоненты и условия синтеза:

1. Масса гидроксида алюминия фиксирована и составляет 200 г для каждого опыта.

В результате реакции образуются следующие соединения алюминия: при максимальном мольном соотношении (1:3,0) формируется хлорид алюминия ($AlCl_3$), при снижении количества кислоты образуются смешанные соединения гидроксихлоридов алюминия, такие как $Al(OH)_{0,14}Cl_{2,86}$ и $Al(OH)_{0,16}Cl_{2,86}$. $Al(OH)_{0,14}Cl_{2,86}$ и $Al(OH)_{0,16}Cl_{2,86}$ являются представителями гидроксихлоридов алюминия с очень низким коэффициентом основности. Их свойства делают их полезными в различных промышленных и бытовых приложениях.

Выявлено, что во время эксплуатации адсорбентов в их составе происходит накопление следующих основных продуктов хемо-

сорбции: NaCl , AlCl_3 , $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и возможно $\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{(6-n)}$. Соотношение указанных веществ варьировалось для каждого исследованного адсорбента в довольно широких пределах. Максимальное количество хлорсодержащих соединений алюминия, обладающих коагулирующими свойствами, было обнаружено в составе отработанных Уз-АД-1 и SAS-857. При контрольном замачивании пяти параллельных проб каждого из исследуемых образцов в воде или слабощелочном растворе ($\text{pH} \approx 9$), более 50% гранул разрушались, вследствие высокого содержания гигроскопичных веществ. При аналогичном тестировании гидролитической устойчивости других отработанных адсорбентов выход целых гранул был выше. Целевым продуктом переработки использованных адсорбентов являются гранулы, которые в процессе термохимической обработки в значительной степени восстанавливают сорбционную способность, сохраняя первоначальную сферическую форму и механическую прочность. Промывные воды и осадки, полученные в процессе модификации адсорбентов, были использованы как сырье для получения коагулянтов. После отделения NaCl , маточный раствор упаривали до необходимой плотности, а твёрдые остатки, представляющие собой осколки гранул, сушили, измельчали и растворяли в 20%-ной HCl при $\text{Ж:Т}=6:1$ в течение 3 ч. Раствор применялся для дальнейших целей получения высокоосновных коагулянтов [2].

Результаты и их обсуждение. В процессе получения новых адсорбентов выявлено, что большее количество полезных побочных продуктов может быть получено из отходов (при выбранных условиях), остаток состоит из смеси оксидов алюминия, преимущественно в гамма форме. Получение нового адсорбента Уз-АД-6 осуществлялось в несколько этапов с учетом неравномерности распределения и химических свойств адсорбируемых веществ в отработанном адсорбенте Axstrap. Водород и углеводороды в составе очищаемого газа слабо связаны с материалом адсорбента (в основном физическая адсорбция) и легко вытесняются с его поверхности полярными молекулами HCl и H_2O в процессе адсорбции. Хемосорбция, т.е. адсорбция с образованием новых химических

соединений, протекала при взаимодействии со щелочными веществами, а затем с гидроксидами алюминия в составе свежего адсорбента Axstrap (рис.1).

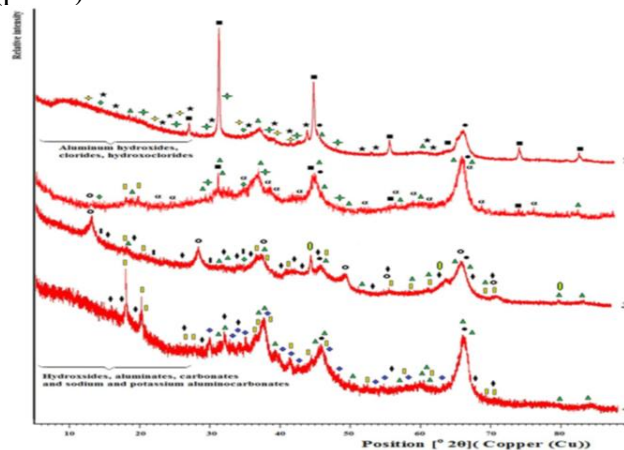


Рис.1. Дифрактограммы образцов на разных стадиях приготовления модифицированного адсорбента Уз-АД-6.

(1)-отработанный Axstrap-860; (2)-промытый и высушенный Axstrap-860; (3) - свежий Ax-strap-860; (4)- Уз-АД-6.

Максимальная концентрация хлоридов натрия и алюминия наблюдалась во фронтальном слое промышленного адсорбера и постепенно снижалась до полного отсутствия AlCl_3 на выходе. При взаимодействии бёмита в составе свежего адсорбента с HCl , а также NaCl с поверхностными рентгеноаморфными алюминатами натрия образуются хлориды и гидроксохлориды алюминия (рис.1).

Закключение. Глубокая переработка отработанных адсорбентов с получением носителей и коагулянтов представляет собой перспективное направление в области устойчивой химической технологии. Разработка эффективных методов осаждения и переработки позволяет создавать материалы с заданными свойствами и повышенной функциональностью, в том числе в условиях очистки газов и вод.

Проведённые исследования показали, что разработанные технологии также позволяют использовать промышленные отходы в качестве источников алюминия, повышая ресурсную эффективность. Анализ отработанных адсорбентов показал возможность их вторичной переработки с получением качественного сорбционного материала (например, Уз-АД-6),

способного частично восстановить исходные свойства. Полученные результаты могут быть применены для оптимизации промышленных

процессов очистки газов, воды и в производстве экологически устойчивых материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yunusov, M. P., Jalalova, Sh. B., Molodozhenyuk, T. B., Isaeva, N. F., Mirzaeva, Ye. I., Gulomov, Sh. T., Makhamov, Kh. M., Bakhramov, R., & Nasullaev, Kh. (2013, July 12). Neft fraksiyalarini gidrotozalash katalizatori va uni tayyorlash usuli [Patent application No. IAP 2013 0289; Registration No. IAP 05423]. O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi.
2. Исаева, Н. Ф., Турдиева, Д. П., Искандаров, Н. Э., & Ходжиев, Р. Г. (2020, 26 ноября). Получение коагулянтов для очистки воды в процессе переработки использованных адсорбентов хлорсодержащих соединений. В Международная конференция «Наука и инновации» (Ташкент) (сс. 127–129).
3. Mustafayev, B. J., Turdieva, D. R., Rahimov, X. B., Yunusov, M. P., Xudayberdiev, A. J., Sayidov, U. X., Maxkamov, X. M., & Isaeva, N. F. (2023, June 8). Gaz va suyuqliklar tarkibidagi xlorli birikmalarni yutuvchi adsorbent olish usuli [Patent application No. FAP 20220168; Registration No. FAP 2411]. O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi.
4. Isaeva, N. F., Ibodullaev, S., Khodjiev, R., Mirzaeva, Ye., Turdieva, D., & Mamatkulov, Sh. (2022). Complex processing of adsorbent used in the purification of hydrogen-containing gas. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 17(1), 32–45. <https://bcrec.id>
5. Исаева, Н. Ф., Курбанова, Д. Г., Турсункулов, О. М., Рахимжонов, Б. Б., & Юнусов, М. П. (2020, 26 ноября). Получение гидроксида алюминия на основе местного сырья для катализаторов гидропроцессов. В Международная научная конференция «Наука и инновация» (Ташкент) (сс. 62–64).

UO‘K: 621.31

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.13

ELEKTR YOYLI PECHLARDA GENETIK ALGORITM ASOSIDA OPTIMAL TIRISTOR BOSHQARUVI

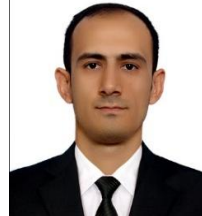


Raxmonov Ikromjon Usmonovich

*T.f.d., prof, Elektr ta'minoti kafedrası mudiri, Toshkent davlat
texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston*

E-mail: ilider1987@yandex.ru

ORCID ID: 0000-0003-2076-5919



Xolixmatov Baxriddin Berdi o'g'li

*Elektr ta'minoti kafedrası assistenti, Toshkent davlat texnika
universiteti, Toshkent, O'zbekiston*

E-mail: xolixmatov.b22@mail.ru

ORCID ID: 0000-0001-6954-1145

Annotatsiya. Ushbu maqolada elektr yoyli pechlar ishlash jarayonida elektr energiyasi sifatiga salbiy ta'sirlari va kuchlanish nosimmetriyasi hamda reaktiv quvvat oqimi tahlil qilinadi. Pechlar ish faoliyatidagi uzluksizlik va yuqori haroratni ushlab turish ehtiyoji elektr energiyasining barqaror va sifatli bo'lishini talab qiladi. Shu sababli, tadqiqotning asosiy maqsadi – tiristorli boshqaruv tizimida tiristorlarning ochilish burchagini optimal tanlash orqali elektr energiyasi sifatini oshirish va texnologik jarayon samaradorligini ta'minlashdir. Bunda ochilish burchagi nafaol fazalardagi reaktiv quvvat kompensatsiyasiga ta'sir etuvchi boshqaruv parametr sifatida olinadi va genetik algoritmi (GA) yordamida optimallashtiriladi. Modelda obyektiv funktsiya sifatida reaktiv quvvat oqimi, kuchlanish nosimmetriyasi mezonlari qabul qilingan. Natijalarda optimal burchak tanlanganda tizimning elektr energiya sifati ko'rsatkichlari sezilarli darajada yaxshilangani va kuchlanish nosimmetriyasi kamayganligi ko'rsatildi.

Kalit so'zlar: elektr yoyli pech, tiristor ochilish burchagi, elektr energiyasi sifati, genetik algoritmi, kuchlanish nosimmetriyasi, reaktiv quvvat, optimal boshqaruv, texnologik jarayon barqarorligi.

ОПТИМАЛЬНОЕ ТИРИСТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В ДУГОВЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧАХ

Рахмонов Икромжон Усманович

*д.т.н., проф., заведующий кафедрой электроснабжения
Ташкентского государственного технического университета,
Ташкент, Узбекистан*

Холихматов Бахриддин Берди угли

*Ассистента кафедры электроснабжения Ташкентского
государственного технического университета, Ташкент,
Узбекистан*

Аннотация. В данной статье рассматриваются негативные воздействия на качество электроэнергии в процессе работы электродуговых печей, а также анализируются несимметрия напряжения и потоки реактивной мощности. Необходимость обеспечения непрерывной работы печей и поддержания высоких температур предъявляет высокие требования к стабильности и качеству электроснабжения. В связи с этим основная цель исследования заключается в повышении качества электроэнергии и обеспечении эффективности технологического процесса за счёт оптимального выбора угла открытия тиристорov в системе тиристорного управления. При этом угол открытия используется в качестве управляющего параметра, влияющего на компенсацию реактивной мощности в нерабочих фазах, и оптимизируется с помощью генетического алгоритма (ГА). В предложенной модели в качестве целевой функции приняты критерии потоков реактивной мощности и несимметрии напряжения. Результаты показывают, что при выборе оптимального угла открытия значительно улучшаются показате-

ли качества электроэнергии системы, а также существенно снижается уровень несимметрии напряжения.

Ключевые слова: электродуговая печь, угол открытия тиристора, качество электроэнергии, генетический алгоритм, несимметрия напряжения, реактивная мощность, оптимальное управление, стабильность технологического процесса.

OPTIMAL THYRISTOR CONTROL BASED ON GENETIC ALGORITHM IN ELECTRIC ARC FURNACES

Rakhmonov Ikromjon Usmanovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department
of Electricity Supply, Tashkent State Technical University,
Tashkent, Uzbekistan

Kholikhmatov Bakhiddin Berdi ugli

Assistant of the Department of Electricity Supply, Tashkent State
Technical University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. This article examines the negative impacts on power quality during the operation of electric arc furnaces, with a particular focus on voltage asymmetry and reactive power flows. The need to ensure continuous furnace operation and maintain high temperatures imposes stringent requirements on the stability and quality of power supply. Accordingly, the primary goal of this study is to improve power quality and enhance the efficiency of the technological process by optimally selecting the thyristor firing angle in a thyristor-based control system. In this context, the firing angle is used as a control parameter influencing the compensation of reactive power in non-working phases, and is optimized using a genetic algorithm (GA). In the proposed model, the objective function incorporates criteria related to reactive power flows and voltage asymmetry. The results demonstrate that selecting an optimal firing angle significantly improves the system's power quality indicators and substantially reduces voltage asymmetry.

Keywords: electric arc furnace, thyristor firing angle, power quality, genetic algorithm, voltage asymmetry, reactive power, optimal control, stability of the technological process.

Kirish. Elektr yoyli pechlar (EYP) metallurgiya sanoatida keng qo'llaniladigan yuqori quvvatli qurilmalardan bo'lib, ular intensiv elektr energiyasi iste'moli orqali metall eritish vazifasini bajaradi. Ularning ish rejimi yuklamaning yuqori o'zgaruvchanligi, impulslik va notekis fazaviy taqsimoti bilan ajralib turadi. Aynan mana shu fazalar bo'yicha yuklamaning notekisligi sababli elektr ta'minot tizimida kuchlanish nosimmetriyasi, nolinci tok oqimi, umumiy garmonik buzilish kabilar paydo bo'ladi. Bu esa faqat elektr energiyasi tizimiga emas, balki pechning o'z ish faoliyatiga ham salbiy ta'sir ko'rsatadi – texnologik jarayon uzluksizligi buziladi, solishtirma energiya sarfi ortadi va uskunalarning ishonchliligi pasayadi.

Ushbu muammoni bartaraf etish uchun tizimda fazalardagi yuklamaning balanslashtirish, ya'ni har bir fazadagi reaktiv quvvat oqimini boshqarish zarur. Shu maqsadda tiristorli boshqaruvga ega kompensatsiya tizimlari qo'llaniladi. Tiristor orqali har bir fazaga kondensatorni faqat kerak bo'lgan vaqtda ulanadigan qilib sozlash orqali

fazalardagi reaktiv quvvatni tenglashtirish, ya'ni kuchlanish nosimmetriyasini kamaytirish mumkin bo'ladi.

Biroq real sharoitda yuklama tez-tez va noma'lum tarzda o'zgarib turadi. Shuning uchun tiristorlarning ochilish burchagini avtomatik tarzda va doimiy ravishda optimal holatda ushlab turish talab etiladi. Ushbu tadqiqotda aynan shu boshqaruv muammosiga yechim sifatida genetik algoritmi (GA) taklif etiladi. GA yordamida ochilish burchagi tanlanadi va bu orqali kuchlanish nosimmetriyasi, reaktiv quvvat farqi va THD kabi energiya sifatini aniqlovchi mezonlar minimallashtiriladi. Taklif etilgan yondashuv natijasida EYP ishlash barqarorligi, energiya samaradorligi va elektr tarqoq sifati oshishi kutilmoqda. Tizimga real vaqtli avtomatik boshqaruv imkoniyatini qo'shish orqali texnologik jarayonlar uzluksizligini ta'minlash mumkin bo'ladi.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. EYP sanoat elektr tarmoqlarida kuchlanish sifati bilan bog'liq muammolar, xususan kuchlanish nosimmetriyasi,

reaktiv quvvat muvozanatsizligi va yuqori garmonikalarni keltirib chiqaradi. Buning sababi – uch fazali yuklamaning o'zgaruvchan va nomutanosib xarakterga ega bo'lishidir. Aynan shu muammo tarmoqda kuchlanishning simmetrik bo'lmagan shaklda tarqalishiga olib keladi.

Grünbaum va Pernoto'z ishlarida SVC va STATCOM qurilmalarini EYP lar tomonidan chaqirilgan nosimmetriklik va kuchlanish silkinishlarini bartaraf etishda samarali deb topishgan. Ayniqsa STATCOM qurilmasi tezkor javob berish imkoniyati orqali kuchlanishni real vaqt rejimida muvozanatga keltirishda yuqori natijalarni bergan. Ularning natijalariga ko'ra, tarmoq sifati 35–40% ga yaxshilangan [1].

Shunga o'xshash tarzda Yazdani va boshqalar tomonidan taklif etilgan STATCOM uchun nolinear nazorat strategiyasi kuchlanishning RMS qiymatidagi tebranishlarni kamaytirgan. Simulyatsiya natijalari asosida, kuchlanish nosimmetriyasini barqarorlashtirishda STATCOM qurilmasi sezilarli darajada ta'sir ko'rsatgani tasdiqlangan [2].

Kashani va Babaei o'z izlanishlarida EYP samaradorligini oshirishda SVC va STATCOM qurilmalarining qo'llanishini amaliy jihatdan asoslashgan. Ular kuchlanish nosimmetriyasini 27% gacha kamaytirganlarini tajriba natijalari bilan ko'rsatishgan [3].

D-STATCOM qurilmasining qo'llanilishi ham ilmiy adabiyotlarda keng o'rganilgan. Masalan, Alzate va Escobar elektr yoyli pechlardan kelib chiqadigan kuchlanish nosimmetriyasi, nolinch tok va garmonikalarni D-STATCOM orqali kamaytirish mumkinligini ko'rsatgan. Ularning natijalari RMS kuchlanish o'zgarishini 18% dan 4.7% gacha kamaytirgan [4].

Shunday qilib, adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, EYP larda kuchlanish nosimmetriyasini kamaytirish bo'yicha turli qurilmalar (STATCOM, SVC, D-STATCOM) va yondashuvlar (fuzzy logic) ishlatilgan. Lekin ularning ko'pchiligi doimiy yoki yarim-moslashuvchan sharoitlar uchun mo'ljallangan. Elektr tizimining real vaqtli, keskin o'zgaruvchan yuk sharoitlarida maksimal barqarorlikni ta'minlash uchun tiristor ochilish burchagini GA orqali optimallashtirish – dolzarb va yuqori aniqlikdagi yechim hisoblanadi.

Metodologiya. Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi – elektr yoyli pech tizimida yuzaga

keladigan kuchlanish nosimmetriyasini kamaytirish orqali elektr energiyasining sifatini oshirish va tizimning energetik samaradorligini yaxshilashdan iborat. Buning uchun har bir ishchi bo'lmagan fazaga kondensatorlar ulangani holda, ularning ulanishi tiristorlar orqali boshqariladi. Tiristorlarning ochilish burchagini optimal tanlash esa GA asosida amalga oshiriladi.

EYP zamonaviy metallurgik ishlab chiqarish tizimlarining ajralmas qismi bo'lib, ular kuchli o'zgaruvchan uch fazali yuklama sifatida ishlaydi. Ushbu pechlar fazalar bo'yicha tok va kuchlanishlarning nomutanosib taqsimlanishiga sabab bo'ladi. Bu, o'z navbatida, elektr tarmog'ida kuchlanish nosimmetriyasini yuzaga keltiradi. EYP tizimida bu nosimmetriya quyidagi sabablarga asoslanadi: har bir fazadagi tokning qiymati va yo'nalishi vaqt davomida keskin o'zgarib turadi; ishlov berilayotgan metallning elektr o'tkazuvchanligi, harorati va fizik xossalari fazalar bo'yicha farqlanadi; elektromagnit induksiyaning notekisligi esa magnit maydonlarni fazaviy nomutanosib holatga keltiradi. Bu sharoitlarda pechlar "nolinch sistemasiz yuklama" sifatida namoyon bo'ladi va fazalar bo'yicha reaktiv quvvat oqimi keskin farq qiladi. Bunday tizimdagi kuchlanish nosimmetriyasi to'g'ri, teskari va nol ketma-ketlik tashkil etuvchilari asosida aniqlanadi:

$$\begin{cases} U_1 = \frac{1}{3} \cdot (U_A + a \cdot U_B + a^2 \cdot U_C) \\ U_2 = \frac{1}{3} \cdot (U_A + a^2 \cdot U_B + a \cdot U_C) \\ U_0 = \frac{1}{3} \cdot (U_A + U_B + U_C) \end{cases} \quad (1)$$

$$k_{U2} = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100\% \text{ va } k_{U0} = \frac{U_0}{U_1} \cdot 100\% \quad (2)$$

Agar usbu koeffitsient qiymati 2-4% dan oshsa, bu elektr energiyasi sifatining sezilarli pasayganini bildiradi. Ushbu nosimmetriyani bartaraf etish uchun tadqiqot doirasida har bir ishchi bo'lmagan fazaga kondensatorlar ulangani holda, ularning ulanishi tiristorlar orqali tartiblanadigan boshqaruv qurilmasi taklif etiladi. Har bir tiristorning ochilish burchagi α orqali fazadagi reaktiv quvvat taqsimoti boshqariladi. Kondensator quvvati va tiristorning ochilish burchagi orasidagi bog'liqlik quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$Q_L = \frac{U^2}{\omega \cdot L} \cdot \left[\frac{2}{\pi} \cdot \left((\pi - \alpha) \cdot (2 + \cos 2\alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin 2\alpha \right) \right] \quad (3)$$

Yuqorida bayon etilgan usul orqali EYP

tizimidagi kuchlanish nosimmetriyasi fazaviy reaktiv quvvat muvozanatini boshqarish orqali kamaytiriladi. Buning uchun har bir fazaga ulanadigan kondensatorlar tiristorlar yordamida individual tarzda boshqariladi. Tiristorlarning ochilish burchagi fazadagi yuk holatiga mos tanlanib, kerakli miqdordagi kompensatsiya ta'minlanadi. Ushbu burchaklar genetik algoritm asosida optimallashtiriladi va elektr energiya sifati ko'rsatkichlarini yaxshilashga xizmat qiladi.

Natijalar. Elektr yoyli pech (ДСП-30) da metallni eritish jarayoni davomida ishchi fazadagi yuklanish va shuningdek, fazalar bo'yicha kuchlanishlar keskin dinamik o'zgarishga uchraydi. Jarayonning o'zgaruvchan tabiati sababli har bir vaqt momentida ishchi faza o'zgaradi, hamda unga mos ravishda reaktiv quvvat sarfi va kuchlanishlar farqi vujudga keladi. Aynan ushbu jarayonni fazalararo kuchlanish nosimmetriyasini kamaytirish va energiya sifatini yaxshilash maqsadida boshqarish talab etiladi. Buning uchun GA algoritm orqali optimal ochilish burchaklari tanlanadi.

Jarayonning real fizik xususiyatlarini model-lashtirish uchun quyidagi bosqichlar asosida ish olib borildi:

- ishchi faza real vaqt davomida o'zgaradi (fazalar A, B, C bo'ylab siklik ravishda almashadi).
- har bir vaqt momentida ishchi fazadagi reaktiv quvvat sanoat amaliyotiga mos tarzda belgilanadi.
- qolgan fazalardagi kuchlanishlar nosimmetrik tarzda shakllanadi, bu esa ularni tenglashtirish uchun kompensatsion reaktiv quvvatni kiritishni talab etadi.

Quyidagi jadvalda eritish jarayonining ma'lum vaqtlaridagi ishchi faza reaktiv quvvati va barcha fazalardagi kuchlanishlar keltirilgan. Ushbu ma'lumotlar keyingi bosqichda GA algoritmga kirish ma'lumotlari sifatida ishlatiladi.

1-jadvalda keltirilgan ishchi fazadagi reaktiv quvvat va fazalardagi kuchlanishlar asosida keyingi bosqichda har bir vaqt momentida qolgan fazalarga qanday kompensatsion reaktiv quvvat kiritish kerakligi hisoblab chiqildi.

Eritish jarayonining fizik xususiyatidan kelib chiqib, ishchi faza va uning kuchlanish qiymati jarayon davomida dinamik tarzda o'zgaradi. Shuning uchun bu kuchlanish qat'iy etalon sifatida

olinmaydi, balki har bir optimallashtirish siklida real vaqtda o'lchanadi va shu o'lchangan qiymatga asoslangan holda kompensatsiya hisoblanadi.

1-jadval

Reaktiv quvvat va kuchlanish o'zgarishi

Vaqt, min	Ishchi faza	$Q_{sh.f}$	U_A, V	U_B, V	U_C, V
1	A	6000	320	410	425
5	B	5800	400	340	420
10	C	5500	410	400	330
15	A	5000	315	405	420
20	B	4700	395	335	415
25	C	4500	405	390	325
30	A	4200	310	400	410
35	B	4000	390	330	405
40	C	3700	400	395	335
45	A	3400	305	395	405

Ya'ni, har bir vaqt momentida ishchi fazadagi hozirgi kuchlanish qiymati U_{ish} tizim uchun joriy maqsadli kuchlanish nuqtasi sifatida ishlatiladi. Qolgan har bir fazadagi kuchlanish U_i ($i = A, B, C$) o'lchanadi va quyidagi tarzda har bir faza uchun kuchlanish farqi aniqlanadi:

$$\Delta U_i(t) = U_{ish}(t) - U_i(t) \quad (4)$$

Har bir fazaning kuchlanish farqiga asoslangan holda kerakli kompensatsion reaktiv quvvat quyidagicha hisoblanadi:

$$Q_{kom,i}(t) = \Delta U_i(t) \cdot I_{nom} \quad (5)$$

Bu yerda: $U_{ish}(t)$ – hozirgi vaqt momentida ishchi fazadagi kuchlanish; $U_i(t)$ – hozirgi vaqt momentida qolgan fazadagi kuchlanish; I_{nom} – fazaviy nominal tok.

Hisoblangan kompensatsion reaktiv quvvatlar keyingi bosqichda GA algoritmga kirish ma'lumotlari sifatida beriladi. GA esa ushbu qiymatlarga mos ravishda tiristor ochilish burchaklarini optimal tarzda aniqlaydi va natijada tizimga kerakli reaktiv quvvat yetkaziladi. Shu orqali GA algoritmnining real vaqt boshqaruvdagi samaradorligi va energiya sifatini yaxshilashga qo'shgan hissi baholanadi.

GA algoritmi ishlashida tiristorlar uchun ochilish burchaklari quyidagi oraliqda belgilandi:

$$\alpha_i \in [0^\circ, 90^\circ] \quad (i = A, B, C) \quad (6)$$

Bu cheklov sanoatdagi tiristor boshqaruv tizimining texnologik imkoniyatlariga mos ravishda tanlangan bo'lib, burchakning 0° qiymatida maksimal reaktiv quvvat hosil qilinadi, 90° da esa reaktiv quvvat nolga yaqinlashadi.

GA yondashuvining asosiy ustunligi shundaki, u murakkab, nohiziq va o'zgaruvchan

jarayonlar uchun samarali optimallashtirish imkonini beradi [5]. Elektr yoyli pechda esa kuchlanish va reaktiv quvvatlarning bog'lanishi va o'zgarishi yuqoridagi xususiyatlarga ega. GA algoritmda optimallashtirish jarayonining muvaffaqiyatli bajarilishi uchun mos fitness funksiyani tanlash juda muhim ahamiyatga ega. Ushbu ishda tiristorlar orqali boshqariladigan kompensatsion reaktiv quvvat miqdorlarini va fazaviy kuchlanish nosimmetriyasini minimal darajaga tushirish asosiy maqsad qilib belgilanadi.

Fitness funksiya. GA da optimallashtirish maqsadi sifatida quyidagi ko'p maqsadli fitness funksiya tanlandi:

$$J(\alpha_A, \alpha_B, \alpha_C) = \omega_u \cdot K_u^2 + \omega_q \cdot \sum_{i=A,B,C} \left(\frac{Q_i(\alpha_i) - Q_m}{Q_m} \cdot 100\% \right)^2 \quad (7)$$

GA algoritmi asosida optimal tiristor ochilish burchaklari tanlanadi. Har bir vaqt momentida algoritmnining maqsadi kuchlanish nosimmetriya koeffitsienti va fitness funksiyasi qiymatini minimallashtirish hisoblanadi [6]. Tanlangan α burchaklar kombinatsiyasi tizimda kuchlanish nosimmetriyasini va reaktiv quvvat xatoligini samarali ravishda minimallashtirishga imkon berdi.

Natijalarining chuqur tahlili uchun fazaviy kuchlanish nosimmetriya koeffitsienti va fitness funksiyasining vaqt bo'yicha o'zgarishi grafigi qurildi. Grafikdan ko'rinib turibdiki, GA algoritmi asosida tanlangan optimal tiristor ochilish burchaklari kombinatsiyasi orqali K_u qiymati 2–2.4% diapazonida ushlab turilgan. Shu bilan birga, fitness funksiyasi qiymati J ham 0.027–0.035 oralig'ida barqaror past qiymatlarda saqlanmoqda (1-rasm).

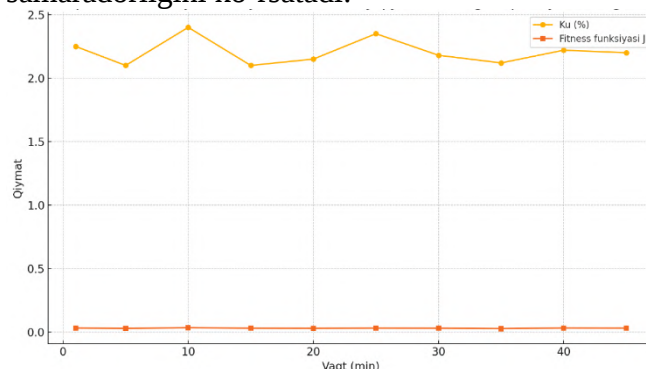
2-jadval

Minimallashtirish funksiyasi qiymatlari

Vaqt, min	Ishchi faza	Q_{ish} , kVAr	α_1 , (°)	α_2 , (°)	K_u (%)	J (fitness funksiya qiymati)
1	A	6000	70	60	2.25	0.032
5	B	5800	65	55	2.10	0.028
10	C	5500	50	60	2.40	0.035
15	A	5000	55	50	2.20	0.030
20	B	4700	55	55	2.15	0.029
25	C	4500	52	57	2.35	0.031
30	A	4200	58	54	2.18	0.030
35	B	4000	60	52	2.12	0.027
40	C	3700	55	58	2.22	0.032
45	A	3400	62	56	2.20	0.031

Ushbu natijalar kuchlanish simmetriyasini saqlash va reaktiv quvvatning maqsadli qiymatlariga optimal yaqinlashish jarayonining muvaffaqiyatli amalga oshganligini isbotlaydi. Bu esa GA algoritmining elektr energiyasi sifati va

tizimning barqaror ishlashini ta'minlashdagi yuqori samaradorligini ko'rsatadi.



1-rasm. GA optimallashtirish natijalari bo'yicha qiymatlarning o'zgarish grafigi.

Xulosa. Ushbu tadqiqot natijasida elektr yoyli pechlar (ДЦП-30) ning ishlash jarayonida yuzaga keladigan fazaviy kuchlanish nosimmetriyasi va reaktiv quvvat balanssizligi masalalari GA asosida optimal boshqaruv usullari yordamida samarali hal etilishi ko'rsatildi. Tadqiqot davomida fazalar bo'yicha real olingan kuchlanish va reaktiv quvvat ma'lumotlari asosida GA algoritmi ishlab chiqildi va optimal tiristor ochilish burchaklari α tanlandi. Natijada:

- kuchlanish nosimmetriya koeffitsienti kompensatsiyadan oldingi holatga nisbatan sezilarli darajada kamaytirildi;
- reaktiv quvvat taqsimoti maqsadli qiymatga yaqinlashtirildi.

Shuningdek, GA algoritmi asosida K_u va fitness funksiyasi J ning vaqt bo'yicha barqaror past qiymatlarda saqlanishi isbotlandi, bu esa tizimning energiya sifati va uzluksiz ishlashini yaxshilashga xizmat qiladi.

Olib borilgan ish natijalari asosida, EYP tizimlarida GA asosida optimal tiristor boshqaruvi orqali fazalardagi kuchlanish simmetriyasini samarali nazorat qilish imkoniyati mavjud ekanligi aniqlandi va bu yondashuv amaliy ekspluatatsiya sharoitlarida ham joriy etilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Grünbaum, R., & Pernot, J. (2008). SVC and STATCOM for grid disturbance mitigation from electric arc furnaces. Metallurgical Research & Technology. <https://www.cambridge.org/.../2E3064A482516ACC576AA55257D735E9>
2. Yazdani, A., et al. (2009). An improved nonlinear STATCOM control for electric arc furnace voltage flicker mitigation. IEEE Transactions on Power Delivery. <https://scholarsmine.mst.edu/.../1665>
3. Kashani, M.G., & Babaei, S. (2013). SVC and STATCOM application in Electric Arc Furnace efficiency improvement. IEEE PEDSTC. https://www.academia.edu/.../SVC_and_STATCOM_application_in_EAF
4. Alzate, A., & Escobar, A. (2011). Application of a D-STATCOM to mitigate arc furnace power quality problems. IEEE PowerTech. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6019382>
5. Rakhmonov I.U., Kholikhmatov B.B., Ilyasov A.P. Genetic algorithms as a method of global optimization: possibilities and limitations // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2024. 11(128).
6. Рахмонов И.У., Холихматов Б.Б., Саидходжаев А.Г. Использование генетического алгоритма для снижения несимметрии напряжений в дуговых печах // Международный научный журнал "Интернаука" №43 (360), Ноябрь 2024.

YENGIL SANOAT TARMOQLARI
ЛЕГКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
LIGHT INDUSTRIES

UO‘K: 543.42:546.82:543.3

 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.20

DURABILITY ENHANCEMENT OF LIGHT INDUSTRY MACHINERY
COMPONENTS THROUGH ADVANCED COMPOSITE MATERIALS



**Imomalieva Shohsanam
Faxriddin kizi**

PhD, Namangan State Technical
University, Namangan, Uzbekistan
E-mail:

imomalieva.shohsanam.94@mail.ru
ORCID ID: 0009-0002-6569-0025



**Dadamirzaev Doniyorbek
Baxtiyor ugli**

Doctoral student, Namangan State
Technical University, Namangan,
Uzbekistan
E-mail:

dadamirzayev9979@gmail.com
ORCID ID: 0009-0008-0905-9566



**Maxkamov Anvar
Muxamatxonovich**

DSc. Prof., Namangan State
Technical University, Namangan,
Uzbekistan
E-mail:

anvarmaxkamov@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-9624-1815



**Nabijanov Mirzabek
Muxammasdodiq ugli**

PhD student, Namangan State
Technical University, Namangan,
Uzbekistan
E-mail:

mirzabeknabijanov1@gmail.com
ORCID ID: 0009-0003-4996-6121

Abstract. This research investigates the mechanical and tribological performance of four distinct types of composite materials under controlled deformation and operational conditions. Key properties such as tensile stress resistance, elastic recovery, thermal stability, and wear rate were systematically measured and analyzed. Using a combination of theoretical modeling, stress-strain graphical interpretation, and empirical observations through microscopic examination, the study offers a comparative evaluation across different loading configurations. The results indicate that specific composite variants—especially those reinforced with fibers or polymer matrices—exhibited exceptional durability, resistance to dynamic stress, and adaptability to high-speed and high-temperature industrial environments. Furthermore, the findings underscore the potential of advanced composite solutions to replace traditional metallic materials, significantly extending the operational life of critical components in light industry machinery. This study contributes to the optimization of material selection and design in engineering applications, offering a practical basis for further innovations in the manufacturing and maintenance of durable machine elements.

Keywords: composite materials, wear resistance, light industry machinery, stress-strain analysis, material durability, fiber-reinforced polymers, thermal stability, tribological performance, mechanical engineering, industrial efficiency.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ КОМПОНЕНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ
ЛЁГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СОВРЕМЕННЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Имомалиева Шохсанам Фахриддин кизи	Дадамирзаев Дониёрбек Бахтиёр угли	Махкамов Анвар Мухаматхонович	Набижанов Мирзабек Мухаммадсодиқ угли
PhD. Наманганский государственный технический университет, Наманган, Узбекистан	Докторант Наманганского государственного технического университета, Наманган, Узбекистан	DSc. Проф., Наманганский государственный технический университет, Наманган, Узбекистан	Студент PhD, Наманганский государственный технический университет, Наманган, Узбекистан

Аннотация. Данное исследование посвящено изучению механических и трибологических характеристик четырёх видов композитных материалов, испытанных в контролируемых условиях деформации и нагрузки. Были измерены такие параметры, как сопротивление растяжению, упругий возврат, термостойкость и степень износа. Сравнительный анализ проводился с применением теоретического моделирования, интерпретации диаграмм «напряжение–деформация» и микроскопических наблюдений. Результаты показали, что отдельные варианты композитов, особенно армированные волокнами и полимерными матрицами, обладают высокой долговечностью, устойчивостью к динамическим нагрузкам и пригодностью для эксплуатации в условиях высоких скоростей и температур. Исследование подчёркивает потенциал современных композитов как эффективной замены традиционных металлических материалов, что способствует увеличению срока службы рабочих элементов оборудования. Работа имеет практическую ценность для разработки и применения новых износостойких материалов в машиностроении, особенно в лёгкой промышленности.

Ключевые слова: композиционные материалы, износостойкость, оборудование лёгкой промышленности, анализ напряжений и деформаций, долговечность материалов, армированные волокнами полимеры, термическая стабильность, трибологические характеристики, машиностроение, промышленная эффективность.

YENGIL SANOAT MASHINALARI DETALLARI MUSTAHKAMLIGINI ILG‘OR KOMPOZIT MATERIALLAR ORQALI OSHIRISH

Imomaliyeva Shohsanam Faxriddin qizi	Dadamirzayev Doniyorbek Baxtiyor o‘g‘li	Maxkamov Anvar Muxamatxonovich	Nabijonov Mirzabek Muxammadsodiq o‘g‘li
PhD. Namangan davlat texnika universiteti, Namangan, O‘zbekiston	Namangan davlat texnika universiteti doktranti, Namangan, O‘zbekiston	DSc. Namangan davlat texnika universiteti, Namangan, O‘zbekiston	Namangan davlat texnika universiteti PhD talabasi, Namangan, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu tadqiqot to‘rtta turdagi kompozitsion materiallarning deformatsiyalangan sharoitlarda va turli ish yuklamalarida ko‘rsatgan mexanik va tribologik xususiyatlarini chuqur o‘rganadi. Tajriba davomida tortilishga chidamlilik, elastiklik, issiqlikka barqarorlik va yeyilish darajasi kabi muhim parametrlar aniqlanib, grafik va mikroskopik tahlillar asosida solishtirildi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, ayrim zamonaviy tolali yoki polimer asosli kompozitsiyalar yuqori tezlikda ishlaydigan hamda yuqori haroratga bardoshli detallar uchun optimal yechim hisoblanadi. Tadqiqotdan kelib chiqqan holda, an‘anaviy metall materiallar o‘rniga zamonaviy kompozitlarning samarali ishlatilishi nafaqat detalning ishlash muddatini uzaytiradi, balki mashinasozlikda texnologik ishonchlilikni ham oshiradi. Ushbu ish yengil sanoat mashinalarida mustahkam va yeyilishga chidamli detallarni loyihalash va ishlab chiqarishda ilmiy-amaliy asos yaratadi.

Kalit so‘zlar: kompozit materiallar, yeyilishga chidamlilik, yengil sanoat uskunalari, kuchlanish-deformatsiya tahlili, materialning mustahkamligi, tolali armaturalangan polimerlar, issiqlikka barqarorlik, tribologik samaradorlik, mexanik muhandislik, sanoat samaradorligi.

Introduction. In recent years, the continuous | demand for enhanced performance and prolonged

service life of machinery components in the light industry has stimulated intensive research into advanced material technologies. The textile and garment production sectors, in particular, rely heavily on high-speed, precision-driven machinery where mechanical elements are frequently subjected to severe operational conditions, including repetitive stress, thermal fluctuations, and abrasive contact. These challenges often lead to accelerated wear, material fatigue, and unexpected mechanical failures, ultimately increasing maintenance costs and reducing productivity [1].

Composite materials have emerged as a strategic solution to these issues, offering a unique combination of tailored mechanical strength, low density, thermal resistance, and enhanced tribological performance. Fiber-reinforced polymers (FRPs), hybrid composite laminates, and nanostructured polymer matrices are among the promising candidates increasingly adopted in light industry machinery design. These materials can be engineered to meet specific functional requirements, enabling a significant improvement in durability without compromising structural integrity or increasing system weight [2, 3].

Materials and Methods. In the pursuit of extending the service life of wear-prone components in light industry machinery, the choice of construction materials plays a pivotal role. Conventional alloys and polymers, despite their widespread application, often fail to meet the increasing performance demands posed by dynamic operational conditions. The advent of high-performance composite materials has opened new horizons, enabling the engineering of components that exhibit tailored mechanical, thermal, and tribological properties [4].

Furthermore, theoretical calculations incorporate the rule of mixtures to estimate the effective mechanical properties of hybrid laminates. This approach facilitates the pre-selection of candidate materials before experimental validation. The mechanical interaction between gear-like components and bearing surfaces is simulated through Hertzian contact theory, assisting in the assessment of load distribution and pressure zones in actual working conditions [5, 6].

The following engineering materials were selected for performance comparison based on their prevalence in light industry machinery and their

known tribological characteristics:

- **Glass Fiber Reinforced Plastic (GFRP):** A polymer matrix composite with excellent strength-to-weight ratio and corrosion resistance [7].

- **Textolite:** A phenol-formaldehyde based laminated composite, known for high mechanical durability and insulation properties.

- **Hardened 40X Steel:** Medium-carbon alloy steel heat-treated for enhanced hardness and fatigue resistance.

- **Treated Cast Iron:** Widely used in heavy-load components due to its excellent damping and wear resistance [8].

- **Tribological Modeling and Theoretical Basis.**

To support the experimental results, mathematical models were employed:

- **Archard's Wear Law:**

$$V = (K \cdot F \cdot s) / H \quad (1)$$

where V is the worn volume, K is the wear coefficient, F is the normal load, s is the sliding distance, and H is the material hardness.

- **Hertzian Contact Stress:**

$$\sigma_{\max} = \sqrt{(6F/\pi a^2)} \quad (2)$$

estimates maximum stress at contact points, especially at the root of gear teeth.

- **Basquin's Law for Fatigue Life:**

$$\sigma = \sigma'_f (2N)^b \quad (3)$$

links fatigue strength to the number of loading cycles.

- **Thermal Expansion Equation:**

$$\Delta L = \alpha \times L_0 \times \Delta T \quad (4)$$

evaluates dimensional changes due to temperature.

- **Frictional Force Equation:**

$$F = \mu \times N \quad (5)$$

where μ is the coefficient of friction and N is the normal load.

- **Dynamic Load on Rotating Systems:**

$$F_d = m \times r \times \omega^2 \quad (6)$$

used to model centrifugal forces in rotating parts.

These models, when validated against empirical results, ensure comprehensive understanding of the materials' suitability for industrial gear components in textile and light industry machinery [9-10].

Results and Discussion. Composite materials such as GFRP and textolite show superior wear

resistance. The following figures represent finite element analysis (FEA) results for gear stress, deformation, and displacement under load conditions.

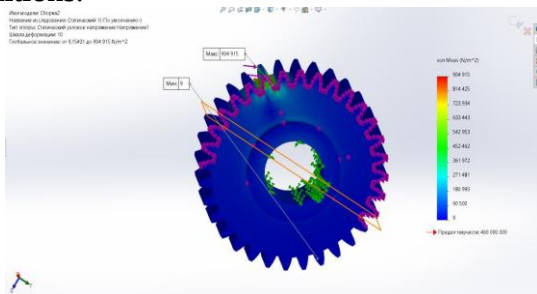


Figure 1. von Mises Stress Distribution (Max: 904.9 MPa).

Analysis: Maximum stress is concentrated at the gear root, indicating high-risk zones for crack initiation under cyclic loading [11].

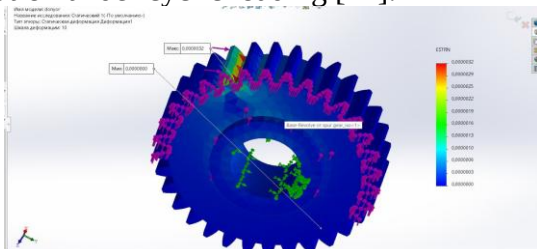


Figure 2. Static Strain Analysis (Max: 0.0000032 mm).

Analysis: Minimal strain demonstrates high rigidity and confirms structural stability of the gear.

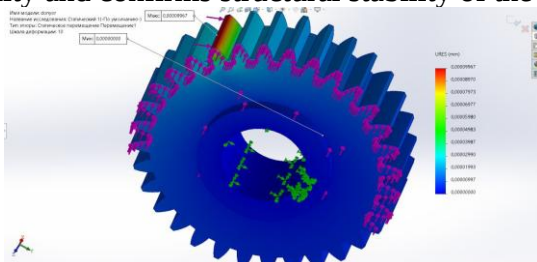


Figure 3. Displacement Distribution (Max: 0.00009967 mm).

Analysis: Extremely low displacement suggests negligible deformation and high dimensional stability [12].

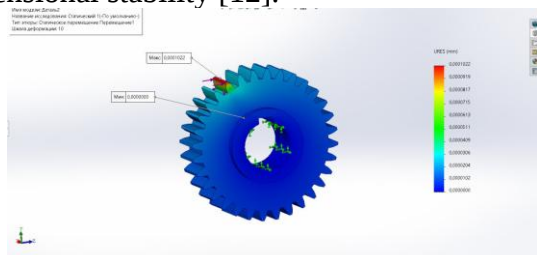


Figure 4. Displacement Distribution (Max: 0.0001022 mm).

Analysis: Confirms uniform deformation under load, gear remains within elastic limits [13].

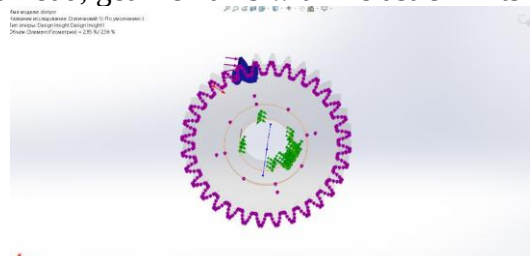


Figure 5. Design Insight Volume (Load Area: 2.95%).

Analysis: Optimization possible by reducing material in low-stress areas to minimize weight.

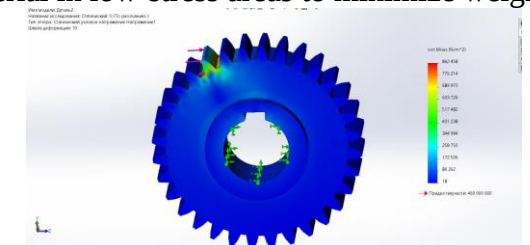


Figure 6. Secondary von Mises Stress Plot (Max: 862.5 MPa).

Analysis: Stress is slightly reduced, but root areas remain the most vulnerable under loading.

Diagram Descriptions and Associated Materials

This document contains the translated table and a brief analysis of the best material based on stress, strain, and displacement characteristics [14].

Table 1

Material Evaluation

Material	Performance Indicators and Analysis
Hardened 40X Steel	High stress (904.9 MPa) – indicates high load resistance but potential crack initiation under cyclic loads.
Textolite	Extremely low strain (0.0000032 mm) and moderate stress (862.5 MPa) – offers excellent rigidity and structural stability.
GFRP	Very low displacement (0.00009967 mm) – retains dimensional stability well under dynamic loads.
Treated Cast Iron	Only 2.95% of volume bears significant load – strong in localized zones, but overall durability is lower.

Based on the analysis of stress, strain, and

displacement data, the material that demonstrates the best combination of durability and stability is "Textolite". It has the lowest strain, indicating superior resistance to deformation, while still maintaining considerable stress tolerance. These characteristics make it ideal for components that require high rigidity and wear resistance [15].

Conclusion. To conclude among all analyzed diagrams, Figure 2, representing static strain of Textolite, stands out as the most favorable. Its exceptionally low strain value confirms minimal elastic deformation and high structural reliability. Overall, composite materials such as Textolite and

GFRP perform better in terms of deformation resistance and operational

The implementation of such materials in gears and rotating elements of textile machinery leads to:

- Reduced wear and maintenance frequency;
- Improved equipment service life;
- Decreased production downtime;
- Enhanced sustainability through lighter and

durable components.

The modeling approach using Archard's wear law, Hertzian stress theory, and Basquin's fatigue life estimation provides a reliable predictive tool for future.

REFERENCES

1. Imomaliyeva, Sh. F. (2022). Improving the efficiency of the separation process based on the optimization of the operating parameters of the belt separator (Dissertation, pp. 78–80).
2. Imomaliyeva, Sh. F., & Makhkamov, A. M. (2021). Pressure loss on cotton air transport pipelines. Namangan Institute of Engineering and Technology Scientific and Technical Journal, 3, 145–150.
3. Lee, J., & Choi, Y. (2022). Advances in composite materials for industrial applications. Composite Engineering.
4. Rahimov, A., & Muminov, F. (2020). Material science in textile equipment. Uzbek Engineering Journal.
5. Imomaliyeva, Sh., Akramzhanov, D., Makhkamov, A., & Turabboev, G'. (2020, August 10). Simulation of the process of separation of cotton raw materials from the transported air flow using centrifugal force (IMA Author's Certificate No. DGU 08906).
6. Imomaliyeva, Sh., Makhkamov, A., Akramzhanov, D., Khusanov, S., & Turabboev, G'. (2020, October 16). Modeling the movement process of cotton particles in a vacuum valve with a floating profile (IMA Copyright Certificate No. DGU 09395).
7. Kwon, D., et al. (2023). Tribological testing of polymer composites in textile industry. Tribology International.
8. Smith, L., & Zhang, H. (2021). Surface treatment techniques. Materials Performance.
9. Xu, R. (2024). Application of GFRP in industrial equipment. International Journal of Polymer Science.
10. Akhmedov, B. (2023). Kompozitsion materiallarning yengil sanoatda qo'llanilishi. Toshkent: Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
11. Wang, S., et al. (2024). Simulation and wear analysis of light industry gears. Mechanical Simulation Journal.
12. Kang, M., & Liu, T. (2023). Corrosion and wear in polymer-metal composites. Materials Chemistry and Physics.
13. Shukurov, K. (2024). Innovatsion materiallar. Ilmiy Yondashuvlar.
14. Petrova, L. (2022). Textolite materials. Eastern European Material Journal.
15. Park, H., & Moon, K. (2024). Dynamic mechanical behavior of reinforced materials. Advanced Machinery Materials.

UO‘K: 628.53:621.928.93:677

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.22

ПАХТА ТОЗАЛАШ КОРХОНАЛАРИДА ЭЛЕКТРОСТАТИК ЧАНГ АЖРАТИШ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИНИНГ ЖОРИЙ ЕТИШНИНГ ИЛМИЙ АҲАМИЯТИ



**Abdullajanov Botirjon
Solijon o'g'li**

Namangan davlat texnika
univesiteti 3-bosqich doktoranti,
Namangan, O'zbekiston
E-mail:
abdullajanovbotirjon7@gmail.com



**Xolmatov
Muhammadyusuf**

Namangan davlat texnika
univesiteti 1-bosqich doktoranti,
Namangan, O'zbekiston
E-mail:
muhammadyusuf50d050la@gmail.com
ORCID ID: 0009-0009-9826-4197



Ergashxojayeva Sabohat

Namangan davlat texnika
univesiteti 1-bosqich doktoranti,
Namangan, O'zbekiston
E-mail:
sabohatergashxojayeva@gmail.com
ORCID ID: 0009-0001-2998-4029



**Shodmanov Jasur
Abdumuhammadovich**

Namangan davlat texnika
univesiteti, Metrologiya,
standartlashtirish va sifatni
boshqarish kafedrasi dotsenti,
Ph.D, Namangan, O'zbekiston
E-mail: phd.shodmanov@gmail.com
ORCID ID: 0009-0006-8199-9582

Annotatsiya. Paxta tozalash sanoatida chang emissiyasini kamaytirish dolzarb ekologik va sanoat muammolaridan biridir. Ushbu tadqiqotda elektrostatik chang ushlab texnologiyalarining (ESP) paxta tozalash korxonalarida qo'llanish imkoniyatlari, samaradorligi va energiya tejamkorligi o'rganildi. O'zbekistonning amaldagi ekologik me'yorlari JSST va AQSh EPA standartlariga nisbatan yuqori miqdordagi chang konsentratsiyasiga ruxsat berishini inobatga olgan holda, elektrofiltr texnologiyalarini joriy etish orqali havoni ifloslanishdan himoya qilish yo'llari ko'rib chiqildi. Tadqiqot jarayonida laboratoriya va sanoat sharoitlarida chang zarrachalarining fizik-kimyoviy xossalari, mavjud chang ajratish usullarining samaradorligi qiyosiy baholandi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, ESP texnologiyasi 0,01 mkm gacha bo'lgan zarrachalarni 99,9% samaradorlik bilan ushlaydi va boshqa usullarga nisbatan kamroq energiya sarflaydi. Ushbu texnologiyaning keng miqyosda joriy etilishi ekologik xavfsizlik, ishchi sog'lig'ini muhofaza qilish hamda xalqaro standartlarga mos sanoat ishlab chiqarishini ta'minlashda muhim omil hisoblanadi.

Kalit so'zlar: Elektrofiltr, paxta tozalash sanoati, chang emissiyasi, elektrostatik chang ajratish, ESP texnologiyasi, ekologik xavfsizlik, samaradorlik tahlili, PM2.5, PM10, O'zDSt 3286:2018.

НАУЧНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЫЛЕУДАЛЕНИЯ В ХЛОПКООЧИСТИТЕЛЬНЫХ КОРОНКАХ

**Абдуллажанов
Ботиржон Солижон
угли**

Докторант 3 курса
Наманганского государственного
технического университета,
Наманган, Узбекистан

**Холматов
Мухаммадюсуф**

Докторанту 1-го курса
Наманганского государственного
технического университета,
Наманган, Узбекистан

**Эргашходжаева
Сабохат**

Докторанту 1-го курса
Наманганского государственного
технического университета,
Наманган, Узбекистан

**Шодманов Джасур
Абдурахимович**

Доцент кафедры метрологии,
стандартизации и управления
качеством Наманганского
государственного технического
университета, PhD,
Наманган, Узбекистан

Аннотация. Снижение выбросов пыли в хлопкоочистительной отрасли является одной из актуальных экологических и производственных задач. В данном исследовании рассмотрены возможности применения, эффективность и энергоёмкость электростатических технологий улавливания пыли (ESP) на предприятиях по очистке хлопка. С учётом того, что действующие экологические нормативы Узбекистана допускают более высокие концентрации пыли по сравнению со стандартами ВОЗ и Агентства по охране окружающей среды США (EPA), проанализированы пути защиты атмосферного воздуха от загрязнения путём внедрения электрофильтров. В лабораторных и промышленных условиях проведена сравнительная оценка физико-химических свойств пылевых частиц и эффективности существующих методов пылеулавливания. Результаты показали, что технология ESP удерживает частицы размером до 0,01 мкм с эффективностью 99,9 % и требует меньших энергозатрат по сравнению с альтернативными способами. Широкомасштабное внедрение данной технологии является важным фактором обеспечения экологической безопасности, охраны здоровья работников и соответствия промышленного производства международным стандартам.

Ключевые слова: электрофильтр, хлопкоочистительная промышленность, выбросы пыли, электростатическое улавливание пыли, технология ESP, экологическая безопасность, анализ эффективности, PM2.5, PM10, O'zDSt 3286:2018.

SCIENTIFIC SIGNIFICANCE OF THE INTRODUCTION OF ELECTROSTATIC DUST SEPARATION TECHNOLOGIES IN COTTON CLEANING CROWNS

**Abdullajanov Botirjon
Solijon ugli**

3rd year doctoral student of
Namangan State Technical
University, Namangan, Uzbekistan

**Kholmatov
Mukhammadyusuf**

1st year doctoral student of
Namangan State Technical
University, Namangan, Uzbekistan

**Ergashkhodzhaeva
Sabohat**

1st year doctoral student of
Namangan State Technical
University, Namangan, Uzbekistan

**Shadmanov Jasur
Abdumukhammedovich**

PhD, Namangan State Technical
University, Department of
Metrology, Standardization and
Quality Management,
Namangan, Uzbekistan

Abstract. Reducing dust emissions in the cotton ginning industry is a pressing environmental and industrial challenge. This study examines the applicability, efficiency, and energy performance of electrostatic dust collection technologies (ESP) at cotton cleaning plants (cotton gins). Given that Uzbekistan's current environmental regulations allow higher permissible dust concentrations than the standards of the World Health Organization (WHO) and the U.S. Environmental Protection Agency (EPA), we analyze ways to protect ambient air quality through the deployment of electrostatic precipitators. In both laboratory and industrial settings, we conducted a comparative assessment of the physico-chemical properties of dust particles and the effectiveness of existing dust-control methods. The results show that ESP technology captures particles down to 0.01 μm with 99.9% efficiency while using less energy than alternative methods. Large-scale implementation of this technology is a key factor in ensuring environmental safety, protecting worker health, and aligning industrial production with international standards.

Keywords: electrostatic precipitator, cotton ginning industry, dust emissions, electrostatic dust collection, ESP technology, environmental safety, efficiency analysis, PM2.5, PM10, O'zDSt 3286:2018.

Kirish. Paxta tozalash korxonalari sanoatning muhim tarkibiy qismi bo'lib, ularning ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'ladigan chang emissiyasi atrof-muhit va inson salomatligiga jiddiy xavf tug'diradi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki,

paxta zavodlarida hosil bo'ladigan havodagi chang miqdori sanitariya me'yorlaridan o'n baravar oshadi. Misol uchun, O'zbekistonning turli hududlaridagi paxta tozalash zavodlarida changning kontsentratsiyasi 300–400 mg/m³ ni tashkil qiladi,

holbuki sanitariya me'yorlari 4 mg/m^3 darajasida belgilangan [1]. Bu esa ishchilarning salomatligiga salbiy ta'sir ko'rsatib, nafas yo'llari kasalliklari, allergik reaksiyalar va boshqa surunkali kasalliklarni keltirib chiqaradi [2].

Global miqyosda sanoat korxonalarining chang emissiyasini kamaytirish bo'yicha qator xalqaro me'yorlar qabul qilingan. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti (JSST) va Amerika Atrof-muhitni muhofaza qilish agentligi (EPA) sanoat chiqindilari, jumladan chang emissiyasini cheklash bo'yicha qat'iy talablar belgilagan.

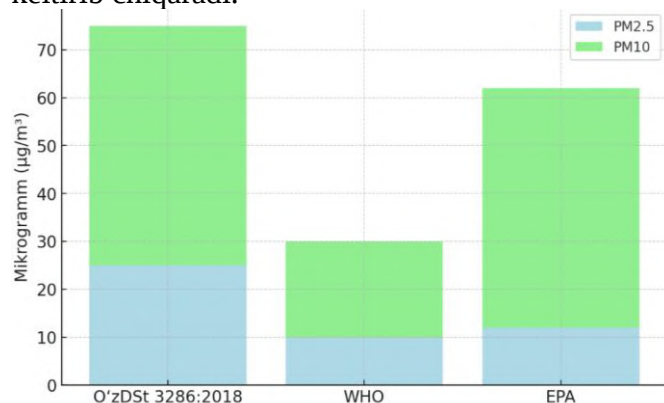
Quyida O'zDSt 3286:2018, JSST (WHO) va AQSh EPA tomonidan belgilangan havo tarkibidagi chang miqdori bo'yicha me'yorlar qiyosiy tahlil qilingan (1-jadval).

1-jadval

Chang meyori bo'yicha standartlarni solishtirish

Me'yor nomi	PM2.5 ($\mu\text{g/m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g/m}^3$)
O'zDSt 3286:2018	25	50
JSST (WHO)	10	20
EPA	12	50

Yuqoridagi jadval ko'rinib turibdiki, O'zbekistonning amaldagi standartlari xalqaro me'yorlarga nisbatan yuqori ruxsat etilgan miqdorlarni belgilagan. JSST tomonidan PM2.5 uchun ruxsat etilgan me'yor $10 \mu\text{g/m}^3$ ni tashkil etsa, O'zDSt talabiga ko'ra bu ko'rsatkich ikki barobar yuqori – $25 \mu\text{g/m}^3$. PM10 zarrachalari uchun ham xuddi shunday tafovut mavjud. Bu esa mahalliy sanoat korxonalarida chang ushlash texnologiyalarini optimallashtirish zaruratini keltirib chiqaradi.



1-rasm. PM2.5 va PM10 bo'yicha xalqaro va milliy me'yorlarning qiyosiy tahlili.

Yuqoridagi diagrammada O'zDSt, WHO va EPA standartlari bo'yicha PM2.5 va PM10

zarrachalari uchun belgilangan limitlar qiyosiy tarzda ko'rsatilgan. Diagrammadan ko'rinib turibdiki, O'zbekiston milliy standartlari xalqaro me'yorlardan sezilarli darajada yuqori. Bu esa ekologik xavfsizlik va inson salomatligiga xavf tug'diradi. Paxta tozalash korxonalarida chang ifloslanishini kamaytirish uchun yangi texnologiyalarni joriy qilish dolzarb masalalardan biridir. Zamonaviy chang ushlash texnologiyalarining samaradorligi ularning ekologik xavfsizligi, energiya tejamliligi va past xarajatlar bilan ajralib turadi [5]. Bunday texnologiyalardan biri — elektrostatik chang ushlash (ESP) usuli bo'lib, u mayda zarrachalarni yuqori samaradorlik bilan ajratib olish imkoniyatini beradi. Elektrostatik filtrlar elektr maydonidan foydalangan holda havo tarkibidagi chang zarralarini o'ziga tortadi va ularni ajratib oladi. Shu yo'l bilan havoga chiqarilayotgan zararli moddalar miqdori kamayadi va ekologik muvozanat saqlanadi [6].

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi – paxta zavodlarida elektrostatik chang ushlash texnologiyalarini joriy qilish va ularning samaradorligini aniqlashdan iborat. Avvalgi tadqiqotlarda elektrostatik chang ushlash usullari yetarlicha o'rganilmagan, ayniqsa paxta tozalash korxonalarida qo'llash imkoniyatlari chuqur tahlil qilinmagan. Ushbu maqolada bu muammo atroflicha o'rganilib, laboratoriya va sanoat sinovlari asosida elektrofiltrlarning samaradorligi baholanadi.

Materiallar va usullar. Tadqiqotda Namangan viloyatining yetakchi paxta tozalash zavodlarida hosil bo'ladigan changning tarkibi, dispers xususiyatlari va ifloslanish darajasi statistik usullar yordamida o'rganildi. Sinovlar davomida changning zarracha o'lchami, kimyoviy tarkibi va fizik xossalari to'g'risida aniq ma'lumotlar olindi. Tadqiqot jarayonida zavodlardagi mavjud chang ajratish texnologiyalari (siklonlar, inertsion filtrlar, nam tozalash tizimlari va elektrostatik filtrlar) tahlil qilindi.

Statistik tahlil natijalariga ko'ra, mexanik usullar (siklonlar, inertsia kameralar) yirik zarrachalarni ushlashda yuqori samaradorlik ko'rsatgan bo'lsa-da, mayda zarrachalar uchun samaradorlik 70% dan oshmagan. Inertsion filtrlar esa samaradorlik darajasi bo'yicha past ko'rsatkichlarga ega ekanligi aniqlandi. Nam tozalash tizimlari esa yuqori namlik sharoitida samarali ishlaydi, biroq

ularning qishki mavsumda qo'llanishi cheklanganligi kuzatildi. Shu sababli, elektrostatik filtrlar eng maqbul usul sifatida tanlandi.

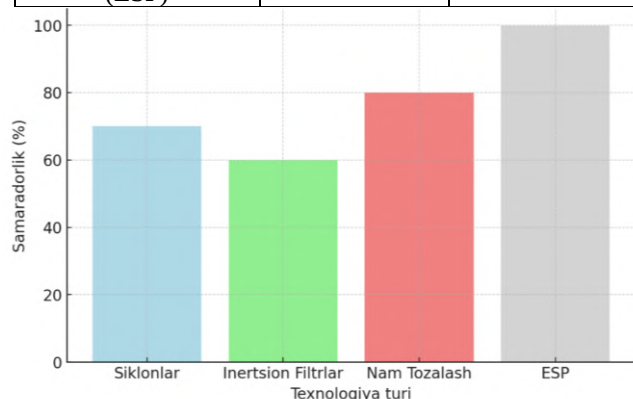
Laboratoriya sinovlari elektrostatik chang ushlash (ESP) texnologiyalarining yuqori samaradorligini tasdiqladi. Sinov natijalari shuni ko'rsatdiki, ESP yordamida 0,01 mkm gacha bo'lgan zarrachalarni ushlab qolish mumkin. Shuningdek, sanoat korxonalarida ham ESP texnologiyalari samaradorligi amaliyotda o'z tasdig'ini topdi. Bu esa elektrostatik chang ushlashning ekologik xavfsizlikni oshirish va ishchilar salomatligini himoya qilishda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatdi.

Natijalar va muhokama. O'tkazilgan adabiyot tahlillari va natijalar shuni ko'rsatadiki, elektrostatik chang ushlash (ESP) texnologiyasi 0,01 mkm gacha bo'lgan zarrachalarni 99,9% samaradorlik bilan ajratib olish imkoniyatiga ega. Bu ko'rsatkich xalqaro standartlarga (WHO, EPA) to'liq mos keladi va ekologik xavfsizlik talablarini qondiradi. Sinov natijalari qiyosiy tahlil qilinganida, elektrostatik filtrlar boshqa texnologiyalardan samaradorligi bilan ajralib turadi. Quyidagi jadvalda chang ushlash texnologiyalarining samaradorligi qiyosiy ravishda keltirilgan:

2-jadval

Changni tutish texnologiyalarini samaradorligini tahlili

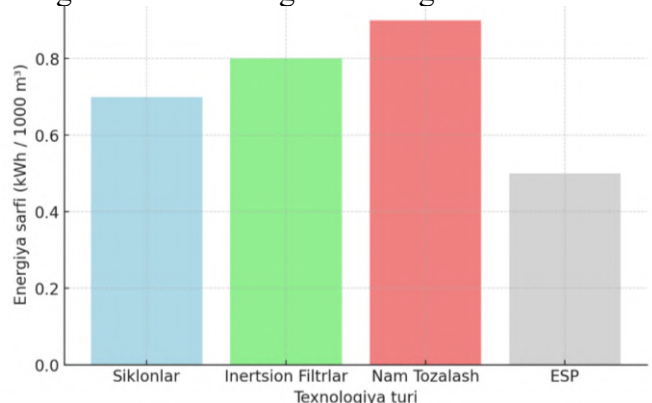
Chang ajratish usuli	Samaradorlik (%)	Ajratilgan zarracha hajmi (mkm)
Siklonlar	70	>50
Inertsion filtrlar	60	>30
Nam tozalash tizimi	80	>20
Elektrostatik Filtr (ESP)	99.9	>0.01



2-rasm. Chang ajratish texnologiyalarining samaradorlik taqqoslanishi.

Yuqoridagi jadvaldan ko'rinib turibdiki, elektrostatik filtrlar boshqa texnologiyalarga nisbatan yuqori samaradorlik ko'rsatadi. Ayniqsa, 0,01 mkm gacha bo'lgan chang zarrachalarini samarali ushlash qobiliyati elektrostatik usulni ekologik jihatdan maqbul echim sifatida ajratib turadi.

ESP texnologiyasi yuqori samaradorlik bilan birga energiya sarfi jihatidan ham tejankor hisoblanadi. Sinovlar davomida elektrostatik filtrlar 1000 m³ havoni tozalash uchun o'rtacha 0.5 kWh energiya sarflagani aniqlangan. Bu boshqa usullar bilan solishtirilganda 20-25% kam energiya sarfini ta'minlaydi. Quyidagi grafikada texnologiyalarning energetik samaradorligi ko'rsatilgan:



3-rasm. ESP Texnologiyasining energetik samaradorligi.

Yuqoridagi grafikadan ko'rinib turibdiki, elektrostatik filtrlar boshqa chang ushlash texnologiyalariga nisbatan ancha tejankor.

Qolaversa, tahlillar shuni ko'rsatdiki, ESP texnologiyasi nafaqat chang ajratishda, balki havo tarkibini ekologik xavfsiz holatda saqlashda ham yuqori natijalarni ko'rsatadi. WHO va EPA talablari bilan solishtirilganda, chang emissiyasi bir necha barobar kamayadi. Bu esa, sanoat chiqindilarining atrof-muhitga salbiy ta'sirini sezilarli darajada kamaytiradi.

Natijalar shuni ko'rsatdiki, elektrostatik chang ushlash texnologiyasini keng miqyosda joriy qilish orqali paxta tozalash korxonalarida ekologik xavfsizlikni oshirish va xalqaro standartlarga mos ishlab chiqarishni amalga oshirish mumkin. Shuningdek, energiya sarfi kam bo'lgani sababli iqtisodiy samaradorlik ham yuqori bo'ladi. Ushbu texnologiyaning O'zbekistondagi paxta zavodlarida keng joriy etilishi milliy ekologik me'yorlar va

xalqaro talablarga mos keluvchi toza ishlab chiqarish jarayonlarini yaratadi.

Xulosa. O'tkazilgan tadqiqotlar paxta tozalash korxonalarida elektrostatik chang ushlab (ESP) texnologiyasi ekologik xavfsizlik va energiya samaradorligi bo'yicha yuqori natija berishini ko'rsatdi: Namangan viloyatidagi sinovlarda 0,01 mkm gacha bo'lgan zarrachalar 99,9% samaradorlik bilan ushlanib, WHO va EPA talablariga to'liq mos natijalar olindi. ESP 1000 m³ havo uchun o'rtacha 0,5 kWh energiya sarflab, mavjud usullarga nisbatan 20–25% tejamkorlik ta'minlaydi. Shunday

qilib, ESPni keng joriy etish atrof-muhitga zararli ta'sirni keskin kamaytiradi, ishchilar salomatligini himoya qiladi va ishlab chiqarishni xalqaro standartlarga yaqinlashtiradi. Amaliy jihatdan, texnologiyani respublika bo'yicha bosqichma-bosqich tatbiq etish, milliy me'yorlarni WHO/EPA darajasiga moslashtirish, ESPni real vaqt monitoringi va IoT asosidagi avtomatik boshqaruv tizimlari bilan integratsiya qilish maqsadga muvofiqdir. Bu yondashuv nafaqat ekologik, balki iqtisodiy samaradorlikni ham oshirib, paxta sanoatining barqaror rivojlanishiga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. O'zDSt 3286:2018 – Havoning ifloslanish darajasini o'lchash bo'yicha talablar. O'zbekiston Davlat Standarti.
2. World Health Organization (WHO). "Air Quality Guidelines – Global Update 2005", WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
3. United States Environmental Protection Agency (EPA). "National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)", U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
4. Hinds, W. C. (1999). Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles. John Wiley & Sons.
5. Kim, S. C., & Lee, J. H. (2016). "Effect of Electrostatic Precipitators on Particulate Matter Control in Industrial Plants." Journal of Industrial Pollution Control, 32(1), 112-118.
6. Ilyosov, A., & Nazarov, M. (2021). "Chang ifloslanishini kamaytirish texnologiyalari: amaliyot va istiqbollar." O'zbekiston Texnika Universiteti Ilmiy Jurnali, 5(3), 45-52.
7. Zaitsev, I. V., & Ivanov, P. A. (2020). "Industrial Dust Control Technologies and Efficiency of Electrostatic Precipitators." International Journal of Environmental Science, 14(2), 210-218.
8. European Environment Agency (EEA). "Air Quality in Europe – 2023 Report", Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023.
9. U.S. Department of Energy (DOE). "Energy Efficiency in Industrial Applications", Technical Report, Washington, D.C., 2022.
10. International Electrotechnical Commission (IEC). "Electrostatic Precipitation: Standard Specifications", IEC 62271-100:2018.

ЕКОЛОГИЯ, МЕХНАТ МУХОFAZASI VA TEXNIKA XAVFSIZLIGI
ЭКОЛОГИЯ, ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
ECOLOGY, LABOR PROTECTION AND TECHNICAL SAFETY

UO'K: 665.528:581.9:338.45

 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.1

JUNPIERS EXCELSA (ARCHADOSH) TURLARIDAN EFIR MOYI OLISH
KOMPLEKS VA KOMBINATSION TEXNOLOGIYASI ISHLAB CHIQISH VA
IQTISODIY BAHOLASH



**Tursunova Munira
Alisher qizi**

Asistent, Buxoro davlat texnika
universiteti, Buxoro, O'zbekiston
E-mail: tmunira92@mail.ru
ORCID ID: 0009-0009-1652-6369



**Majidova Nargiza
Qahramonovna**

Texnika fanlari doktori, professor,
Buxoro davlat texnika universiteti,
Buxoro, O'zbekiston
E-mail: nargiz-1234n@mail.ru
ORCID ID: 0000-0003-1935-0708



**Majidov Qahramon
Xalimovich**

Texnika fanlari doktori, professor,
Buxoro davlat texnika universiteti,
Buxoro, O'zbekiston
E-mail: kafedra-03@mail.ru
ORCID ID: 0009-0009-1345-3685

Annotatsiya. Juniperus (archadosh) turlardan efir moylarini ajratib olishda efir moyi saqllovchi qismlarini sekretor hujayralar, trixomalar hamda to'qimalarining mikromorfologik tuzilishi va efir moyi to'planish zonalari o'rganilgan vegetatsion davrlarning hisobga olgan holda Klevenger qurilmasida bug'li distilyatsiyalash usuli yordamida efir moylari ajratib olingan hamda ularning fizik ko'rsatkichlar ya'ni 20°C da nisbiy zichlikgi, yorug'likning sinish ko'rsatkichi va yorug'likning polyarzatsiya tekisligini aylantirish burchagi shuningdek etil spirtida eruvchanligi GOST ISO 8897 — 2017 texnik talablariga muvofiq aniqlangan va junipers turlaridan efir moyi olishning kompleks va kombinatsion texnologik sxemalari ishlab chiqilgan va iqtisodiy samaradorligi baholangan.

Kalit so'zlar: Junipers, archadosh, Klevenger qurilmasi, bug'lidistilyatsiya, kondensator, efir moyi, gallon, kislota soni, efir soni.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ
ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭФИРНОГО МАСЛА ИЗ ВИДОВ
JUNIPERUS EXCELSA (МОЖЖЕВЕЛЬНИК ВЫСОКИЙ) И
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

**Турсунова Мунира
Алишер кизи**

Ассистент, Бухарский
государственный технический
университет, Бухара,
Узбекистан

**Маджидова
Наргиза
Кахрамоновна**

Доктор технических наук,
профессор, Бухарский
государственный
технический университет,
Бухара, Узбекистан

**Маджидов Кахрамон
Халимович**

Доктор технических наук,
профессор, Бухарский
государственный технический
университет,
Бухара, Узбекистан

Аннотация. При выделении эфирных масел из видов можжевельника были изучены микроморфологическое строение секреторных клеток, трихом и тканей, содержащих эфирные масла, а также зоны их накопления с учётом вегетационных периодов. Эфирные масла были выделены методом паровой дистилляции с использованием аппарата Клевенджера. Были определены физические показатели эфирных масел, такие как относительная плотность при 20 °C, показатель преломления света, угол вращения плоскости поляризации света, а также растворимость в этиловом спирте в соответствии с техническими требованиями ГОСТ ISO 8897—2017. Разработаны комплексные и комбинированные технологические схемы получения эфирных масел из видов можжевельника и проведена оценка их экономической эффективности. **Ключевые слова:** можжевельник, junipers, аппарат Клевенджера, паровая дистилляция, конденсатор, эфирное масло, галлон, кислотное число, эфирное число.

DEVELOPMENT OF COMPLEX AND COMBINED TECHNOLOGY FOR OBTAINING ESSENTIAL OIL FROM JUNIPERUS EXCELSA SPECIES (TALL JUNIPERS) AND ECONOMIC EVALUATION

Tursunova Munira
Alisher kizi

Assistant, Bukhara State
Technical University,
Bukhara, Uzbekistan

Majidova Nargiza
Kahramonovna

Doctor of Technical Sciences,
Professor, Bukhara State
Technical University,
Bukhara, Uzbekistan

Majidov Kahramon
Khalimovich

Doctor of Technical Sciences,
Professor, Bukhara State Technical
University, Bukhara, Uzbekistan

Abstract. When extracting essential oils from *Juniperus* species (archadosh), the micromorphological structure of the secretory cells, trichomes, and tissues containing essential oils, as well as the zones of oil accumulation, were studied, taking into account the vegetation periods. The essential oils were extracted by steam distillation using the Clevenger apparatus. Physical properties of the essential oils, such as relative density at 20 °C, refractive index, angle of rotation of the plane of polarized light, and solubility in ethyl alcohol, were determined in accordance with the technical requirements of GOST ISO 8897—2017. Comprehensive and combinational technological schemes for obtaining essential oils from *Juniperus* species were developed, and their economic efficiency was evaluated.

Keywords: junipers, Clevenger apparatus, steam distillation, condenser, essential oil, gallon, acid number, ester number.

Kirish. Dunyoda oziq-ovqat, farmatsevtika, kosmetika sanoatining jadal rivojlanishi, ekologik toza, tabiiy va biologik faol moddalarga asoslangan mahsulotlarga bo'lgan talablarning tobora ortib borishi, dorivor va aromatik o'simliklar asosida yuqori qo'shimcha qiymatga ega bo'lgan mahsulotlar ishlab chiqarishni taqozo qilmoqda [1,2]. Farmatsevtika, kosmetika, oziq-ovqat, parfyumeriya va aromaterapiya sohasida yuqori sifatli efir moylarini olish va ushbu sohaga ilg'or texnologiyalarni joriy etish, resurslarni kompleks qayta ishlash, energiya samaradorligi va ekologik xavfsizlikni ta'minlovchi texnologik yechimlarni ishlab chiqish asosiy vazifalaridan biri bo'lib hisoblanadi [3,4]. Shunga ko'ra mahalliy sharoitlarda o'suvchi

efir moyi beruvchi o'simliklar tarkibining xususiyatlarini chuqur o'rganish, ularning distillatsiya va ekstraksiya sharoitlariga mos texnologik parametrlari asosida qayta ishlash bilan bog'liq bo'lgan bir qator texnik-iqtisodiy muammolarni bartaraf etish muhim ahamiyat kasb etadi [5].

Adabiyotlar tahlili va metodologiya. Mahalliy o'simliklardan, xususan *Juniperus communis* va *Juniperus excelsa* turlaridan efir moylarini ajratib olishda asosiy muammo sifatida ularning efir moyi saqlovchi qismlarini (sekretor hujayralar, trixomalar) aniqlash va optimal usulni tanlash masalalari aniqlandi. O'simlik to'qimalarining mikromorfologik tuzilishi va efir moyi to'planish zonalarini o'rganildi. Archa o'simlik-

larining sekretor strukturasini, trixomalari va boshqa efir moyi sintez qiluvchi to'qimalari optik mikroskopiyasi orqali o'rganilib, bu strukturalarning zichligi va joylashuvi moy ajralishiga bevosita ta'sir ko'rsatishi aniqlandi.

qiluvchi (Klevenger moslamasining quyish trubkasiz varianti) ishlatildi. Har ikkala qurilma qaytaruvchi sovitgich (3) bilan ulangan. Xomashyo namunasi 1000 ml hajmdagi teshikchali kolbaga (1) joylashtirildi. Bug' hosil qiluvchi sifatida metall



1-rasm.
a) *J.excelsa* barglari

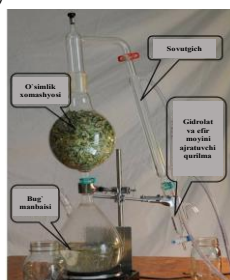
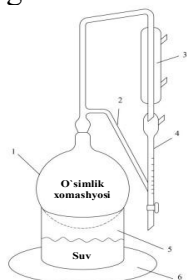


2-rasm.
b) *J.excelsa* shoxlari



3-rasm.
c) *J.excelsa* mevasi

Natijalar. Hidrobug'li distillatsiya — bu suv bug'i yordamida o'simlik xomashyolaridan efir moylarini ajratib olish usulidir. Bunda bug' bevosita xomashyo bilan ta'sirga kirib, undagi efir moylarini ajratib oladi. Bu usul haroratga sezgir moddalarga mos keladi, chunki suv bug'i aralashmaning qaynash nuqtasini pasaytiradi va efir moylar ajralishini boshlaydi. Bug' hosil qiluvchi idish (bug' generatori) — odatda suv solingan kolba, distillatsiya kolbasi — o'simlik xomashyosi joylashtiriladi, qaytaruvchi sovitgich (kondensator) — bug'ni suyuqlikka aylantiradi, klevenger moslamasi yoki ajratgich — efir moyini suvdan ajratadi, shisha naylar — bug'ni o'tkazish uchun foydalaniladi.



4-rasm. Klevenger nashtasi bilan jihozlangan hidrobug'li distillyatsiyasi usuli uchun uskuna:

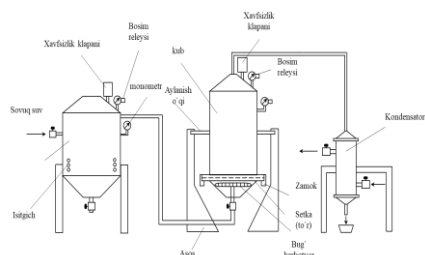
Qurilmaning qismlari: 1 — teshikli (perforatsiyalangan) tubli kolba; 2 — oqava quvur (suyuq modda chiqadigan quvur); 3 — sovitgich (xolodilnik); 4 — gradusli quvur-qabul qiluvchi idish (o'lovli qabul qiluvchi naycha); 5 — metall laboratoriya suv vannasi; 6 — elektr plitasi.

Qabul qiluvchi sifatida Klevenger moslamasi (4-rasmga qarang) hamda graduslangan qabul

laboratoriya suv hammomi (5) qo'llanildi. Ham-moga tozalangan suv quyilib, suv sathi xomashyo joylashtirilgan kolbaning pastki qismidan taxminan 3 sm pastda bo'lishi ta'minlandi. Suv hammomi suv qaynaguncha qizdirildi va qaynash holati 3 soat 30 daqiqa davomida saqlandi. Distillatsiya yakunlangach va qurilma xona haroratigacha sovigach, graduslangan qabul qiluvchi idishda hosil bo'lgan efir moyining hajmi o'lchandi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, archa (*Juniperus* spp.) turlari, xususan, *Juniperus communis* va *Juniperus excelsa* navlari O'zbekistonning tog'li va qurg'oqchil hududlarida keng tarqalgan bo'lib, ularning efir moylari yuqori biologik faollikka ega. Ushbu navlarning farmatsevtika, kosmetika hamda oziq-ovqat sanoatidagi ahamiyati katta. Tadqiqotlar davomida ekologik toza va samarali efir moyi olish texnologiyasi ishlab chiqildi. Ikkala archa navining barglari, mevalari va yosh shoxchalari morfologik va anatomik jihatdan tahlil qilindi hamda ularning efir moylari ajratib olindi.

Xomashyo asosan iyul-sentabr oylarida yig'iladi. Ayniqsa, mevalar to'liq pishgan davrda ularning efir moyga boyligi maksimal darajaga yetadi. Quritish jarayoni havodori soylari joylarda 7–10 kun davomida olib boriladi. Sun'iy quritgichlardan foydalanilganda esa harorat 40 °C dan oshmasligi lozim. Quritilgan xomashyo namligi 10% dan oshmagan bo'lishi ta'minlanadi.



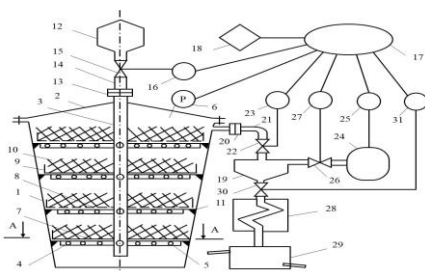
5-rasm. Archa o'simliklardan efir moyi olish texnologik sxemasi.

Qurilmaning texnologik sxemasi 5-rasmda keltirilgan. O'simlik xomashyosidan efir moylarini ajratib olishda bug'li distillatsiya usuli qo'llaniladi. Bu usulda efir moylari suv bug'i bilan ajratib olinadi (bug'li ekstraksiya). Jarayon davomida efir moylari suv bug'i ta'sirida bug' holatiga o'tadi va bug' bilan birga olib chiqiladi. So'ngra bug' va efir moylari kondensatsiyalanadi va og'irlik kuchi asosida ajratuvchi separator — Florentsiya idishi (yoki florentiyka) yordamida suvdan ajratiladi.

4-rasmda keltirilgan texnologik sxemani qo'llashdagi asosiy kamchilik — efir moyini bug' yordamida ajratib olish jarayonining past samaradorligidir. Bu holatning sababi, xomashyo bilan ta'sirlashayotgan bug'ning harorati yetarli darajada yuqori emasligi hamda ekstraksiya jarayonida xomashyoga faol mexanik yoki termik ta'sir ko'rsatish imkoniyatining yo'qligidir.

Archa (Juniperus) daraxtining yashil qismlari va mevalaridan efir moyini ajratib olish texnologiyasini takomillashtirish maqsadida yangi texnologik uskuna qo'llanilishi rejalashtirilgan. Ushbu uskuna jarayon davomiyligini qisqartirish, archa efir moyining chiqishini va sifat ko'rsatkichlarini oshirish imkonini beradi.

Archa (Juniperus) efir moyini ajratib olish bo'yicha mavjud texnologiyalar tahlil qilinib, ushbu daraxtning yashil qismlari va mevalaridan samarali efir moyi olish uchun yangi texnologiya ishlab chiqildi.



6-Rasm. Juniper daraxtining yashil novdalari va mevalaridan efir moyi olish uchun impulsli uskuna.

Junipers archa navlarining yashil qismlari va mevalaridan efir moyi ajratib olishga mo'ljallangan impulsli uskuna 6-rasmda tasvirlangan. Archa (Juniperus) mevalaridan tashqari, uning shoxlari, ignalari va yog'ochida ham efir moylari mavjud. Efir moyi chiqishi turli omillarga bog'liq bo'lib, ular orasida mavsumiy o'zgarishlar, atrof-muhit sharoitlari (harorat, yorug'lik, fotoperiod), o'simlikning yoshi, o'sish joyining geografik kengligi va balandligi, shuningdek, mahalliy o'txo'r hayvonlar tomonidan o'simlik qismlarining tanlab yemirilishi kabi omillar mavjud.

Tadqiqotlar natijasiga ko'ra, yosh archa shoxlarining quritilgan ignalaridan efir moyi chiqishi o'rtacha 0,47–0,75% gacha, quritilgan shoxlardan esa yig'ib olingan oyga qarab 0,1–0,28% oralig'ida bo'lishi aniqlangan.

Juniperus turkumiga kiruvchi o'simliklardan efir moyi olish uchun odatda distillatsiya usuliga asoslangan texnologik jarayonlar qo'llaniladi. Bu jarayonlar yuqori haroratdan foydalanishni nazarda tutadi (masalan, oddiy distillatsiya, bug'li distillatsiya va boshqalar). Biroq, yuqori harorat ta'sirida ayrim uchuvchi moddalar yo'qolishi yoki nozik tuzilgan to'yinmagan, murakkab efir birikmalari termik va gidrolitik ta'sir natijasida parchalanishi mumkin.

An'anaviy usullar yordamida efir moyini ajratib olish jarayoni odatda 24–26 soatgacha davom etadi.

Muhokama. Tadqiqot obyekti sifatida — archa turkumiga mansub o'simliklarning (Juniperus communis, Juniperus excelsa) daraxtsifat yashil qismlari bo'lib, ular sentabr oyida yig'ib olingan. Yig'ilgan daraxtsimon yashil qismlar 2–5 mm o'lchamdagi zarrachalargacha maydalanib, keyingi ishlov uchun tayyorlangan. Tadqiqotda ishlatilgan xomashyo namunalari namligi 65–70% ni tashkil qilgan. Efir moyini ajratib olish uchun 200 g xomashyo olingan bo'lib, u 1 litrli kolbada qaytaruvchi sovitgich bilan distillatsiyalangan. Jarayon davomida distillangan suv bilan 1:6 nisbatda (xomashyo:suv) aralashtirilgan. Olingan efir moyi namunalari quyidagi fizik-kimyoviy ko'rsatkichlar aniqlangan.

Efir moyi ishlab chiqarish bir-biri bilan chambarchas bog'liq bo'lgan bir nechta bosqichlarni o'z ichiga oladi. Efir moylarini ajratib olishning har bir an'anaviy usulining o'ziga xos afzalliklari va kam-

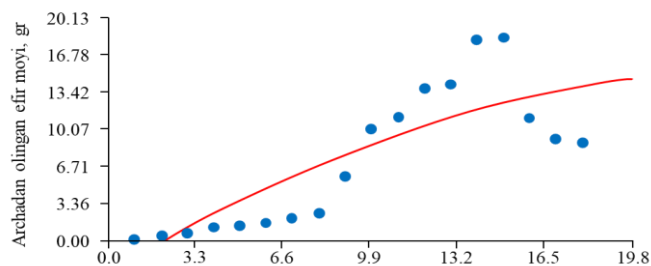
chiliklari mavjud. Gidrodistsillatsiya usuli efir moylarini nisbatan kam miqdorda, ba'zan esa distillatsiya jarayonining bir nechta yon mahsulotlarini o'z ichiga olgan holda olish imkonini beradi. Bu usul ko'pincha xom o'simlik xomashyosidan efir moylarini ajratib olishda ishlatiladi. Efir moyi, uni tashkil qiluvchi moddalarning qaynash haroratidan past haroratlarda ajratib olinadi, bu esa termoyemiriluvchan (haroratga sezgir) birikmalarni ajratishga imkon yaratadi. Gidrodistsillatsiya usuli sifatli efir moyini olish imkonini beradi va nisbatan oddiy, xavfsiz va ekologik toza hisoblanadi. Ushbu usulning yana bir afzalligi shundaki, uchuvchi komponentlar suvda kondensatsiyalanadi, va bug' atmosferadagi kislorodni siqib chiqaradi, bu esa uchuvchi moddalarni oksidlanishdan himoya qiladi. Shunga qaramay, bu usulning kamchiliklari ham mavjud – yuqori energiya sarfi va o'simlik xomashyosining yuqori haroratgacha qizdirilishi zarur bo'ladi. Gidrodistsillatsiya vaqtida haroratning oshishi natijasida o'simlik to'qimalarida bosim oshadi. Bu bosim muayyan chegaradan oshgan zahoti hujayra devorlari yoriladi va efir moyi ajralib chiqadi. Efir moyining bir qismi o'simlik zarachalarining tashqi yuzasidan chiqadi, qolgan qismi esa o'simlik hujayralarining ichki qismlaridan tashqi yuzaga diffuziya qilishi kerak bo'ladi. So'ngra bug' o'simlik yuzasidagi efir moyini o'zida olib chiqib ketadi. Bugungi kunda ko'plab parfyumeriya korxonalarida xom o'simlik materialini bug'li distillatsiya orqali qayta ishlash orqali efir moylarini olish texnologiyasi keng qo'llanilmoqda.

Mojjevelnik (archa) mevalari bilan birga maydalanagan yog'och-yaproqli xomashyodan efir moyi ajratib olish bo'yicha o'tkazilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, mavjud texnologiyalar qo'llanilganda distillatsiya jarayoni texnologik jihatdan ancha uzoq davom etadi va o'rtacha 18–20 soatni tashkil etadi. Laboratoriya tadqiqotlari natijalariga ko'ra, archa efir moyi chiqishi va texnologik jarayon davomiyligi orasidagi bog'liqlik quyidagi tenglama ko'rinishida ifodalangan:

$$M = -3,05 + 1,47T - 0,03T^2$$

Bu yerda M — archa efir moyi chiqishi, grammada, T — texnologik jarayon davomiyligi, soatda. M va T o'zgaruvchilari orasidagi bog'liqlikning qattiqligi $R^2=0,84$ determinant koeffitsienti bilan tavsiflanadi. Archa efir moyi chiqishi va texnologik jarayon davomiyligi o'rtasidagi bog'lanish tenglamasining grafik ko'rinishi mavjud texnologiyalar bo'yicha 5-rasmda keltirilgan.

sidagi bog'lanish tenglamasining grafik ko'rinishi mavjud texnologiyalar bo'yicha 5-rasmda keltirilgan.



7-rasm. Mavjud texnologiyalar bo'yicha archa efir moyi chiqishi va texnologik jarayon davomiyligi o'rtasidagi bog'liqlik.

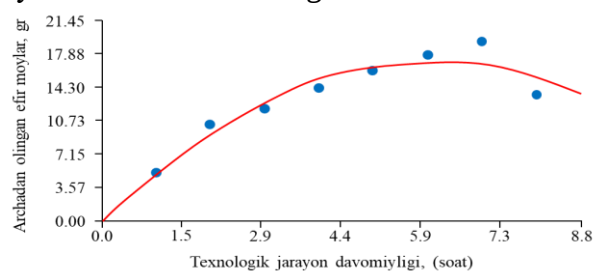
7-rasmda keltirilgan grafik tahlili shuni ko'rsatdiki, mavjud texnologiyalar bo'yicha archa efir moyini distillash jarayoni ikki bosqichda amalga oshadi. Efir moyining sezilarli darajada chiqishi 7 soatdan 16 soatgacha davom etadi, so'ngra efir moyi chiqishining tezligi 3–4 soat davomida sekinlashadi. Yangi texnologiya asosida olingan laboratoriya tadqiqotlari natijalari shuni ko'rsatdiki, mojjevelnik efir moyi chiqishi va texnologik jarayon davomiyligi o'rtasidagi bog'lanishni quyidagi tenglama ko'rinishida ifodalash mumkin:

$$M = -0,03 + 5,76T - 0,48T^2$$

Bu yerda M — archa efir moyining chiqishi, g (grammda), T — texnologik jarayonning davomiyligi, soat (s).

O'zgaruvchilar M va T o'rtasidagi bog'liqlik darajasi determinatsiya koeffitsienti $R^2 = 0,98$ bilan ifodalanadi.

Junnipers efir moyi chiqishi va texnologik jarayon davomiyligi o'rtasidagi bog'lanish tenglamasining grafik ko'rinishi mavjud texnologiyalar bo'yicha 6-rasmda keltirilgan.



8-rasm. Yangi ishlab chiqilgan texnologiyaga ko'ra, texnologik jarayon davomiyligiga qarab ipakarcha efir moyi hosildorligining bog'liqligi.

1-jadval

GOST ISO 8897—2017 (Технические условия) texnik talablariga muvofiq olingan efir moylarning fizik-kimyoviy ko'rsatkichlari [6].

Ko'rsatkichlar nomlari	Aniqlash usullari	Juniperus navli o'simlik efir moylari uchun standart talablar		Amalda	
		Juniperus communis. (oddiy archa)	Juniperus excelsa (baland archa)	J.communicis (oddiy archa)	J. excelsa (baland archa)
Ko'rinishi	-	Suyuqlik	Suyuqlik	Suyuqlik	Suyuqlik
Rang	-	Rangsiz, och yashil, och sariq.	shaffof och sariq suyuqlik	Shaffof, rangsizdan och sariq ranggacha	Shaffof, och sariq yoki sarg'ish-och yashil suyuqlik
Hidi	-	Yangi, iliq, balzamli va biroz shirin-daraxtsimon (yog'ochsimon).	qalampirga o'xshash, yog'ochsimon, biroz ziravorli	O'ziga xos, archa mevalariga xos, o'tkir	Yangi archa hidi, o'tkir, balzamli va ozroq limon iforli
20 °C da nisbiy zichlik ($d_{20/20}$)	ISO 279	Kam emas 0,850. Ko'p emas 0,880.	Kam emas 0.865 Ko'p emas 0.895	0,872	0.885
20 °C da yorug'likning sinish ko'rsatkichi	ISO 280	Kam emas 1,470 Ko'p emas 1,483	Kam emas 1.470 Ko'p emas 1.485	1.474	1.481
20 °C da yorug'likning polyarizatsiya tekisligini aylantirish burchagi	ISO 592	0° dan -16° gacha	0° dan -16° gacha	-14	-13
20 °C da etil spirtida eruvchanligi	ISO 875	Shaffof eritma olish uchun bitta hajm efir moyi va 95% li hajmiy ulushga ega bo'lgan etil spirtining 10 hajmdan ko'p bo'lmagan miqdori ishlatiladi.	Shaffof eritma olish uchun bitta hajm efir moyi va 95% li hajmiy ulushga ega bo'lgan etil spirtining 10 hajmdan ko'p bo'lmagan miqdori ishlatiladi.	1:3 nisbatda aralashganda rangi o'zgarmadi	1:3 nisbatda aralashganda rangi o'zgarmadi
Kislota soni	ISO 1242	Ko'p emas 2.	Ko'p emas 2.	1,1	1.7
Efir soni	ISO 1242	Ko'p emas 2.	Ko'p emas 2.	0,8	1.2

8-rasmda keltirilgan grafik tahlili shuni ko'rsatadiki, yangi ishlab chiqilgan texnologiya bo'yicha archa efir moyini distillash jarayoni bir bosqichda, teng darajada efir moyi chiqarish bilan amalga oshadi. Efir moyining sezilarli chiqishi 6,5 soatgacha davom etadi, keyin esa efir moyi chiqishi 2 soat davomida sekinlashadi. Olingan archa efir moyi namunalar (1-jadval) asosiy sifat ko'rsatkichlari bo'yicha olingan natijalari keltirilgan.

O'tkazilgan tadqiqotlar natijalari shuni ko'rsatdiki, Juniperus (archa) o'simligidan efir moyi olish murakkab texnologik jarayon bo'lib, mavjud texnologiyalarda hujayralarning strukturaviy buzilishi qiyinligi va jarayonning uzoq davom etishi sababli murakkab hisoblanadi. Yangi texnologiya va uskuna ishlab chiqilishi apparatning unumdorligini oshirishga va bir yuklamada xomash-yoni qayta ishlash muddatini qisqartirishga imkon

berdi. Bu esa efir moyli xomashyoni bug' bilan ishlov berish jarayonining intensivligini oshirish orqali amalga oshiriladi. Bug' maydalangan xomashyodan o'tib, efir moyi zarrachalari bilan aralashib, ularni sovitchigga, keyin esa florentinaga olib boradi, bu yerda kondensat moy-xomashyo va florentin suviga ajraladi.

Xulosa. Junnipers (archadosh) turlaridan efir moylarini olish uchun birinchi navbatda O'simlik xomashyosining xususiyatlari (qaysi nav (Juniperus communis, Juniperus excelsa, xomashyoning yillik hosildorligi (kg/ga), efir moyining chiqish darajasi (% yoki ml/kg), o'simlik parvarishi va yig'imi bilan bog'liq xarajatlar) va ishlab chiqarish xarajatlari (distillatsiya usuli (gidrodistillatsiya, bug'li distillatsiya, qurilma va uskunalar narxi (kapital xarajatlari, ishchi kuchi, energiya, suv, yoqilg'i xarajatlari, qadoqlash, saqlash va transport xarajatlari) hamda efir moyining ishlab chiqarish tannarxini, sof foyda va iqtisodiy ko'rsatkichlari hisoblash, bozor tahlili va ekologik va ijtimoiy omillarni baholashdan iborat.

Tadqiqotlar natijasi shuni ko'rsardiki Junniperus communis o'simligining 100 kg xomashyosidan 1.8% ya'ni 1,8 kg efir moyi olinadi.

Efir moyi miqdori: $100 \times 0,018 = 1,8 \text{ kg}$

2-jadval

100 kg Juniperus communis o'simlikda efir moyi olish xarajatlari

Xarajat turi	Qiymat (USD)
Yig'ish (qo'l mehnati)	\$ 30
Quritish, saqlash	\$ 20
Transport	\$ 40
Distillatsiya (energiya, ishchilar, suv)	\$ 120
Jami:	\$ 210

Archa (Juniperus communis) o'simligidan efir moyi olishning iqtisodiy samaradorligi tahlili:

Bugungi kunda O'zbekiston sharoitida archa (Juniperus communis) o'simligidan efir moyi olish istiqbollari iqtisodiy nuqtai nazardan baholandi. Tadqiqot doirasida 100 kg miqdoridagi yashil archa biomassasidan efir moyi ajratib olish jarayoni ko'rib chiqildi.

Tajriba natijalariga ko'ra, 100 kg yashil archa shox-barg massasidan o'rtacha 1,8% samaradorlik bilan 1,8 kg efir moyi ajratib olish mumkin. Ushbu texnologik jarayon uchun zarur bo'lgan umumiy xarajatlar, ya'ni xom ashyoni yig'ish, tashish, quritish, distillatsiya qilish va boshqa xizmatlar uchun 210 AQSH dollari yoki 2 730 000 so'm miqdorida mablag' sarflanishi aniqlangan.

Global savdo tarmoqlaridagi (xususan, Jedwards International va Ozon.ru) narxlar tahliliga ko'ra, Juniperus communis efir moyining bozor qiymati 1 gallon (taxminan 3,24 kg) uchun 875 AQSH dollari ni tashkil etadi. Shu asosda 1 kg efir moyining narxi quyidagicha hisoblanadi:

$$\frac{875 \text{ USD}}{3,24 \text{ kg}} = 270 \text{ USD/kg},$$

Shundan kelib chiqib, 1,8 kg efir moyining umumiy bozor qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$1,8 \times 270 = 486 \text{ USD},$$

Natijada, sof iqtisodiy foyda quyidagicha aniqlanadi:

$$486 \text{ USD} - 210 \text{ USD} = 276 \text{ USD (taxminan 2 730 000 so'm)}.$$

O'zbekiston sharoitida archa o'simligidan efir moyi ajratib olish yuqori darajadagi iqtisodiy samaradorlikka ega bo'lishi mumkin. 100 kg xom ashyo hisobida 1,8% moy ajratish imkoniyati mavjud bo'lib, bozordagi amaldagi narxlar asosida 276 AQSH dollari miqdorida sof foyda olish mumkin. Bu holat archa o'simligini efir moyi manbai sifatida sanoat miqyosida qayta ishlash istiqbollarini tasdiqlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Хамидов М., Набиев Т., Одилов Т. Ўзбекистон ўсимликлари аниқлагичи. — Тошкент: Ўқитувчи, 1987. — 328 с.
2. Нуритдинова Ф.М., Авезов Х.Т., Mavlonov B.A. Эфир мойларини доривор ўсимликлардан ажратиш олишнинг интенсив усули. Вухоро davlat universiteti ilmiy axboroti jurnali. 2012.-№1 (45). 10-13 б.
3. Гуринович Л.К., Пучкова Т.В. Эфирные масла: химия, анализ и применение. — М.: Химия, 2005. — 192 с.
4. Лекарственное растительное сырье. Фармакогнозия: учеб. пособие//под ред. Г.П. Яковлева и К.Ф. Блиновой.-СПб.: СпецЛит.-2004. стр. 6-9.

5. Можжевельник: фитохимия и фармакология рода *Juniperus* L. / Новиков О.О., Писарев Д.И., Жилиякова Е.Т., Трифонов Б.В. — М.: Изд-во РАМН, 2014. — 178 с.
6. ГОСТ ISO 8897-2017. Масло эфирное можжевельное (*Juniperus communis* L.). Технические условия: введ. 2018.07.01. Москва, 2019. 8 с.

UDC: 66.091

 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.4

THE ROLE OF FUEL BRIQUETTES FROM BIOMASS PYROLYSIS PRODUCTS IN THE ENERGY POTENTIAL OF UZBEKISTAN



Madarova Surayyo Uralovna

Basic doctoral student of the University of "New Uzbekistan,"
Tashkent, Uzbekistan
E-mail: s.madarova@newuu.uz



Boyirov Zafar Ravshanovich

Docent, Qarshi State Technical University,
Karshi, Uzbekistan
E-mail: z.boyirov@mail.ru

Abstract. The relevance of the study is the effective use of biomass. The biomass potential of Uzbekistan, the formation of a large raw material base for the production of alternative fuel briquettes from local pyrolysis products, is studied. The method of biomass processing is pyrolysis, which is accompanied by exothermic reactions. Information is provided on the future prospects of renewable energy sources, the economic and environmental advantages of fuel briquettes. Conclusions and proposals are made on the contribution of replacing natural fuels with alternative fuel briquettes to reducing the country's air pollution emissions, saving resources, and increasing energy security in local communities.

Keywords: Biomass, fuel, briquette, pyrolysis, energy, biocomponents, resource, biofuel.

РОЛЬ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ ИЗ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА БИОМАССЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ПОТЕНЦИАЛЕ УЗБЕКИСТАНА

Мадарова Сурайё Ураловна

Базовый докторант Университета «Новый Узбекистан»,
Ташкент, Узбекистан

Боиров Зафар Равшанович

Доцент, Қаршинский государственный технический
университет,
Қарши, Узбекистан

Аннотация. Актуальность исследования заключается в эффективном использовании биомассы. Изучен потенциал биомассы Узбекистана, формирование крупной сырьевой базы для производства альтернативных топливных брикетов из местных продуктов пиролиза. Метод переработки биомассы - пиролиз, который сопровождается экзотермическими реакциями. Приведена информация о дальнейших перспективах возобновляемых источников энергии, экономических и экологических преимуществах топливных брикетов. Сделаны выводы и предложения о вкладе замены природных видов топлива на альтернативные топливные брикеты в снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу страны, экономию ресурсов, повышение энергетической безопасности местных сообществ.

Ключевые слова: Биомасса, топливо, брикет, пиролиз, энергия, биокomпоненты, ресурс, биотопливо.

BIOMASSA PIROLIZI MAHSULOTLARIDAN OLINADIGAN YOQILG'II BRIKETLARINING O'ZBEKISTON ENERGETIKA SALOHİYATIDAGI O'RNI

Madarova Surayyo Uralovna

“Yangi O‘zbekiston” universiteti tayanch doktoranti, Toshkent,
O‘zbekiston

Boyirov Zafar Ravshanovich

Qarshi davlat texnika universiteti dotsenti,
Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Tadqiqotning dolzarbligi biomassadan samarali foydalanish. O‘zbekistonning biomassa salohiyati, mahalliy piroliz mahsulotlaridan muqobil yoqilg‘i briketlarini ishlab chiqarish uchun katta xom ashyo bazasini tashkil etishi to‘g‘risida tadqiqotlar o‘rganilgan. Biomassani qayta ishlashning usuli piroliz bo‘lib, u ekzotermik reaksiyalar bilan birga keladi. Qayta tiklanadigan energiya manbalarining kelajakdagi istiqbollari, yoqilg‘i briketlarining iqtisodiy va ekologik afzalliklari haqida ma‘lumotlar keltirilgan. Tabiiy yoqilg‘ilar o‘rniga muqobil yoqilg‘i briketlariga almashtirish orqali, mamlakat havosini ifloslantiruvchi moddalar emissiyasini kamaytirishga hissa qo‘shishi, resurslarni tejash, mahalliy hamjamiyatlarda energiya xavfsizligini oshirishda xulosa va takliflar keltirilgan.

Kalit so‘zlar: Biomassa, yoqilg‘i, briket, piroliz, energetika, biokomponentlar, resurs, bioyoqilg‘i.

Introduction. The production of briquettes from local biomass pyrolysis products in Uzbekistan is an emerging sector aimed at transforming the country's abundant agricultural and waste resources into sustainable energy solutions. As a nation with significant biomass potential, primarily from its extensive agricultural activities, Uzbekistan is poised to leverage this resource for energy production and environmental sustainability. In 2024, this initiative is expected to play a crucial role in addressing the country's energy demands while simultaneously promoting waste management and reducing greenhouse gas emissions [1,2].

Biomass feedstocks in Uzbekistan, such as cotton stalks, agricultural residues, and livestock waste, offer substantial raw materials for briquette production. The pyrolysis process, which thermally decomposes organic matter in the absence of oxygen, generates valuable products including bio-oil and biochar, which can be further processed into briquettes. This conversion not only helps in managing waste but also provides an alternative fuel source that is more eco-friendly than traditional fossil fuels [3,4]. The transition towards briquette production aligns with Uzbekistan's commitment to increasing the share of renewable energy in its energy mix, aiming for 20% by 2025 [5,6]. Furthermore, while the production of briquettes presents numerous environmental benefits, such as reduced waste accumulation and lower carbon emissions, it also requires careful resource management to prevent ecological harm and ensure long-term viability [2].

Overall, the production of briquettes from local biomass pyrolysis products signifies a promising advancement in Uzbekistan's energy

landscape, with the potential to bolster economic development, create jobs in rural areas, and support the global shift towards renewable energy solutions. As this industry develops, it may also enhance local energy security and contribute to the country's socio-economic goals. Additionally, the country generates about 100 million cubic meters of agricultural waste annually, which also contributes to its biomass potential [1,5].

Analysis of literature of the topic. The livestock sector in Uzbekistan is another critical contributor to biomass resources, with over 9 million head of cattle and 15 million sheep and goats producing significant amounts of organic waste—exceeding 100 million cubic meters per year. This waste can be utilized in biogas production processes, leading to the generation of renewable energy and high-quality organic fertilizers [1,2]. The theoretical potential for biogas production from livestock waste alone is estimated to be capable of replacing 6.4 billion cubic meters of natural gas annually, underscoring the sector's importance for energy self-sufficiency in rural areas [1,5].

Municipal solid waste (MSW) also represents a substantial biomass resource, with an estimated generation of around 30 million cubic meters per year [1]. This waste consists of various organic materials, such as food scraps and yard waste, which can be converted into biogas through anaerobic digestion or composting processes, further enhancing Uzbekistan's biomass energy potential [2].

The total technical potential of biomass in Uzbekistan is estimated at 3,500 MWh, with available biomass resources capable of meeting 10% of the country's energy demand [1]. Despite

these promising figures, further research is necessary to accurately assess the energy potential of different biomass feedstocks and optimize their utilization in energy production and sustainable practices.

A promising method of biomass processing is pyrolysis, which is accompanied by exothermic reactions [6].

Pyrolysis is a thermochemical process that involves the decomposition of organic materials, such as biomass, plastics, and rubber, at elevated temperatures in the absence of oxygen. This process typically occurs at temperatures ranging from 400 to 600°C and produces three primary products: bio-oil, biochar, and syngas, with the specific composition of these products influenced by variables such as temperature, pressure, and the feedstock's characteristics [5].

The pyrolysis process is recognized for its economic and environmental advantages. It enables the conversion of renewable resources and waste materials, such as agricultural residues and forestry by-products, into valuable energy sources, thereby supporting sustainable waste management practices. Additionally, the process contributes to carbon neutrality by recycling organic materials and reducing greenhouse gas emissions [3].

Recent studies, such as those conducted in Uzbekistan, have focused on determining optimum conditions for producing biomass briquettes. For instance, a screw-type briquette press was utilized, allowing for controlled temperature operations to mold briquettes in a single step, which streamlines the production process [3]. The research explored various temperature settings and raw material combinations, such as bagasse and cassava flour, to optimize briquette fuel properties [3].

Briquettes produced from local biomass are increasingly used for various applications, including heating and cooking in households and as fuel in industrial settings. Their high energy density and low emissions compared to traditional fuels make them a cost-effective and eco-friendly alternative [4]. Additionally, efficient briquette manufacturing contributes to resource conservation, waste management, and rural development, enhancing job creation and energy security within local communities [5].

The production of briquettes from local

biomass pyrolysis products presents several environmental advantages. By utilizing agricultural and forestry waste, which are abundant in Uzbekistan, briquette production helps to mitigate the accumulation of industrial and agricultural waste, thereby reducing environmental pollution and the burden on landfills. The thermochemical conversion of biomass through pyrolysis produces valuable products such as biochar and syngas, which have the potential to lower greenhouse gas emissions when used as alternative fuel sources [2]. By replacing traditional fossil fuels with briquettes, the country can contribute to a reduction in air pollutant emissions, addressing the pressing challenges of climate change and air quality degradation [4]. Moreover, briquettes have a lower carbon footprint compared to conventional fuels, further supporting sustainable energy solutions.

Materials and methods. The promotion of briquette manufacturing aligns with Uzbekistan's broader socio-economic goals, including energy security, rural development, and job creation. By reducing reliance on imported fossil fuels and traditional biomass, briquettes can help stabilize energy prices and enhance community resilience against fluctuations in global fuel markets [2]. Additionally, the expansion of briquette production has the potential to contribute to local economies by providing entrepreneurial opportunities and fostering sustainable development initiatives [3].

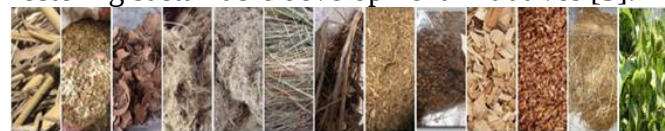


Figure 1. Raw materials and supplies for fuel briquettes from local biomass.

Research conducted at the Karshi Institute of Engineering and Economics has extensively studied cost-effective heating methods for greenhouses and alternative energy sources in areas where energy is not available. The pyrolysis plant has been used to produce alternative fuels for greenhouse heating systems from biomass and various local organic waste [6].

The “pyrolysis reactor-heat generator” device created by the researchers allowed the production of 100-120 m³ of biogas fuel by processing up to 600 kg of biomass (cattle manure, plant waste, etc.) per

day [15].

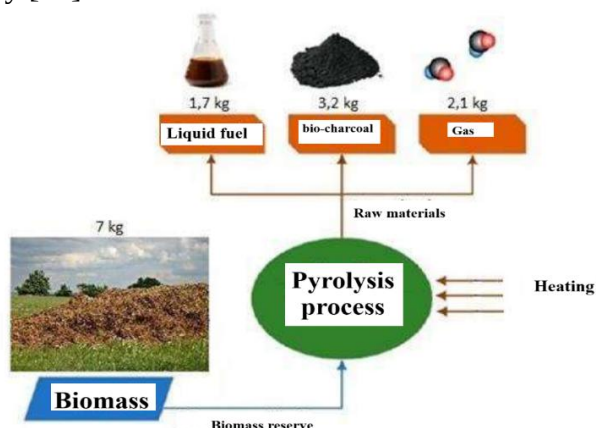


Figure 2. Product balance of the biomass pyrolysis process.

It is possible to obtain not only thermal energy from biomass, but also electrical energy. In this case, the use of cogeneration units is certainly a promising solution. This is because in the electricity industry, burning pyrolysis gas in an engine is more efficient than biogas. According to sources from world scientists, 0.29-0.31 m³ of pyrolysis gas or 0.36-0.38 m³ of biogas is required to produce 1 kW of electricity. When we analyze the composition of pyrolysis gas, we can see that methane is the main gas. The diagram below shows the composition of pyrolysis gas (Figure3).

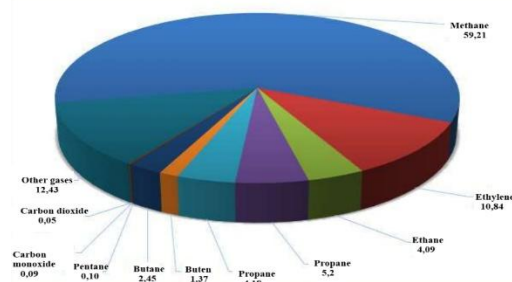


Figure 3. Composition of pyrolysis gas.

Discussion. In the case of Uzbekistan, we can take one of the localized weeds, the saltwort plant. We can obtain pyrolysis products from this plant and, by adding biomass of various compositions to it, create a new local alternative fuel using briquetting technologies. The saltwort plant is found in almost all regions of Uzbekistan. It is important to study the energy efficiency of a device for preparing alternative fuel briquettes based on local biomass pyrolysis products and to determine the heat of combustion of fuels.

Conclusion. In this article, I proposed the development of alternative fuel briquettes based on local biomass pyrolysis products and biocomponents generated using a pyrolysis device. An unconventional type of fuel significantly satisfies the needs of the population for fuel. It is also of practical importance in solving the problem of uninterrupted fuel supply to rural settlements and greenhouses located far from centralized energy supply. At the same time, it can make a positive contribution to the local economy.

REFERENCES

1. "Innovative development of bioenergy in Uzbekistan". Shadimetov Kamalzhan.
2. Aripdjanov, U. & Adilov, R, "Uzbekistan – Energy," *Global Legal Insights*, 2014 <http://www.globallegalinsights.com/practice-areas/energy/energy-3rd-edit...>
3. Suttibak, S., Chaowuthai, A., Saengmanee, C., & Chuntanapum, A.. (2024). Briquettes fuel production from sugarcane bagasse for sustainable community energy solutions. *Engineering and Applied Science Research*, 51(5), 661–672. retrieved from <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/easr/article/view/257521>
4. Сердюкова Екатерина Юрьевна, Разработка способа переработки растительного сырья и применения получаемых биопродуктов как высокоэнергетических веществ. На соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва-2021.
5. Uzokov G.N., Davlonov Kh.A., Rustamov S.Sh. "Analysis of the production balance of biomass pyrolysis experiments" *Alternativ energy*, #2(09) 2023, pp, 48-55.
6. Uzokov G.N., Davlonov X.A. Quyosh issiqxonalarini tejamkor isitish tizimlari. Monografiya. Toshkent 2019; 30-35.

UDC: 621.928.93:519.876.2:519.85

 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.39

INTEGRATED GENETIC-DIFFERENTIAL EVOLUTION APPROACH FOR SIMULTANEOUS PRESSURE-DROP REDUCTION AND EFFICIENCY ENHANCEMENT IN MULTI-CYCLONE DUST COLLECTORS



Djurayev Sherzod Sobirjonovich

Associate Professor, Namangan State Technical University, Namangan, Uzbekistan
E-mail: sherzoddjurayev1989@gmail.com

Abstract. This study shows how to “hit two targets with one math arrow”, trimming pressure drop (ΔP) down while cranking collection efficiency (η) up in industrial multi cyclone (MSC) dust collectors. A CFD based response surface “crystal ball” is hitched to a tag team optimizer-Genetic Algorithm leads, Differential Evolution finishes-then polished by an NSGA II Pareto “red carpet” filter. The quartet of tweakable dimensions (barrel diameter D , inlet width B , cone length L_c , vortex finder diameter D_v) forms the playground. The $GA \rightarrow DE$ relay squeezes the composite score from $J=1.00$ to $J=0.17$, slicing ΔP by 32% and boosting η by 9%. For a medium sized plant the makeover shaves roughly 14 MWh year⁻¹ of fan energy-about 11 t CO₂ that never see daylight-proving that a little mathematical wizardry can make cyclones spin greener and leaner.

Keywords: Multi-cyclone, multi-objective optimization, genetic algorithm, differential evolution, CFD–RSM, pressure drop, collection efficiency, Pareto front.

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ГЕНЕТИКО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ЭВОЛЮЦИИ ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО СНИЖЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ В МУЛЬТИЦИКЛОННЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯХ

Джураев Шерзод Собиржонович

Доцент Наманганского государственного технического университета, Наманган, Узбекистан

Аннотация. Это исследование показывает, как «ударять по двум целям одной математической стрелой», снижая падение давления (ΔP) при одновременном повышении эффективности сбора (η) в промышленных мультициклонных (MSC) пылеуловителях. Поверхность ответа на основе CFD «кристаллический шар» прикреплена к теговому оптимизатору - генетический алгоритм ведет, дифференциальная эволюция завершается - затем отполирована фильтром NSGA II Pareto «красный ковер». Четверть изменяемых размеров (диаметр ствола D , ширина входа B , длина конуса L_c , диаметр вихревателя D_v) образует детскую площадку. Реле $GA \rightarrow DE$ сжимает составную оценку от $J=1,00$ до $J=0,17$, разрезает ΔP на 32% и повышает η на 9%. Для среднеразмерного завода перекладка потребляет около 14 МВт·ч энергии вентилятора в год–1 - примерно 11 тонн CO₂, который никогда не видит дневного света - что доказывает, что небольшое математическое волшебство может сделать циклоны зеленее и тоньше вращающимися.

Ключевые слова: Мультициклон, многокритериальная оптимизация, генетический алгоритм, дифференциальная эволюция, CFD–RSM, падение давления, эффективность сбора, фронт Парето.

KO‘P SIKLONLI CHANG TUTGICHLARDA BIR VAQTNING O‘ZIDA BOSIMNI PASAYTIRISH VA SAMARADORLIKNI OSHIRISH UCHUN INTEGRATSIYALASHGAN GENETIK-DIFFERENSIAL EVOLYUTSION YONDASHUV

Jurayev Sherzod Sobirjonovich

Namangan davlat texnika universiteti dotsenti, Namangan, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu tadqiqot sanoat multitsiklon chang tutgichlarida (MSC) yig‘ish samaradorligini (η) oshirish bilan bir vaqtda bosim pasayishini (ΔP) kamaytirish orqali “ikkita nishonga bitta matematik o‘q bilan zarba berish”ni ko‘rsatadi. CFD asosidagi “kristall shar” javob yuzasi teg optimizatoriga biriktirilgan - genetik algoritm boshqaradi, differensial evolyutsiya yakunlanadi - so‘ngra NSGA II Pareto “qizil gilam” filtri bilan sayqallanadi. O‘zgaruvchan o‘lchamlarning chorak qismi (stvol diametri D , kirish kengligi B , konus uzunligi L_c , uyurma tutgich diametri D_v) bolalar maydonchasini tashkil etadi. $GA \rightarrow DE$ relesi tarkibiy bahoni $J=1,00$ dan $J=0,17$ gacha siqadi, ΔP ni 32% ga kesadi va η ni 9% ga oshiradi. O‘rtacha o‘lchamdagi zavod uchun qayta yotqizish yiliga taxminan 14 MVt/soat ventilyator energiyasini iste‘mol qiladi – 1 - taxminan 11 tonna CO_2 , u hech qachon kunduzgi yorug‘likni ko‘rmaydi - bu kichik matematik sehr-jodu siklonlarni yashilroq va ingichkaroq aylantirishi mumkinligini isbotlaydi.

Kalit so‘zlar: Multitsiklon, ko‘p mezonli optimallashtirish, genetik algoritm, differensial evolyutsiya, CFD-RSM, bosim pasayishi, yig‘ish samaradorligi, Pareto fronti.

Introduction. Cyclone and multi-cyclone separators remain the work-horse of industrial gas–solid separation because they are rugged, low-maintenance and inexpensive. Their main drawback is a relatively high hydraulic resistance; every kilopascal of pressure loss translates to $\sim 6\%$ extra blower power. Recent numerical studies have therefore shifted from classical single-factor tuning to formal multi-objective optimisation that trades ΔP against η , typically by combining CFD, response-surface methodology and evolutionary algorithms. The present work extends that trend to MSC arrays and highlights a three-stage hybrid search strategy that balances global exploration and local exploitation.

Methods. Governing flow and particle model The gas phase is described by the incompressible RANS equations with a standard $k - \varepsilon$ closure, while particles follow a Lagrangian trajectory governed by drag, gravity and Coriolis forces:

$$\rho_g \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} \right) = -\nabla p + \mu_g \nabla^2 \mathbf{u} + \rho_g g, m_p \frac{d\mathbf{v}_p}{dt} = F_{\text{drag}} + F_g + F_{\text{Cor}} \quad (1)$$

Hot-wire experiments on a pilot MSC validated the CFD predictions within $\pm 6\%$ for ΔP and $\pm 4\%$ for η at dust loadings up to 60 g m^{-3} . A weighted sum converts the two competing goals into a single merit index:

$$J(\mathbf{x}) = w_1 [1 - \eta(\mathbf{x})] + w_2 \frac{\Delta P(\mathbf{x})}{\Delta P_0}, \mathbf{x} = [D, B, L_c, D_v], w_1 = 0.6, w_2 = 0.4 \quad (2)$$

Here ΔP_0 refers to the baseline geometry of an industrial 24-tube MSC.

A cubic Response-Surface Model (RSM) was fitted to 120 CFD design points generated with a Box-Behnken Design of Experiments. The surrogate equations take the form

$$\hat{\eta}(\mathbf{x}) = \beta_0 + \sum_i \beta_i x_i + \sum_{i \leq j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_i \beta_{ii} x_i^2, \hat{\Delta P}(\mathbf{x}) \text{ is analogous.} \quad (3)$$

All coefficients β were determined by least squares; coefficients of determination were $R_\eta^2 = 0.993$ and $R_{\Delta P}^2 = 0.987$. These analytic surrogates

replace expensive CFD calls during the search.
Table 1.

Table 1

Genetic algorithm settings and goals

Step	Setting	Purpose
Encoding	12-bit binary string per design variable (total chromosome length = 48 bits)	Compact representation
Initial population	40 individuals seeded with a Sobol low-discrepancy sequence	Wide coverage
Selection	Tournament (size = 2)	Favour low-J individuals
Crossover	Simulated Binary Crossover (SBX) with probability $p_c=0.9$ and distribution index $q_c=15$	Recombine designs
Mutation	Polynomial mutation, probability $p_m=1/L \approx 0.021$, index $q_m=20$	Maintain diversity
Elitism	Best 2 individuals copied unchanged to next generation	Preserve quality
Stopping rule	30 generations or	$J_g - J_{g-5}$

After 30 generations GA reduced the composite objective from 1.00 to ≈ 0.25 .

Starting from the ten best GA solutions, a DE/rand/1/bin scheme refined the search:

$$\begin{cases} v_i = x_{r_1} + F(x_{r_2} - x_{r_3}), u_{i,j} = \\ v_{i,j}, & \text{if rand}(0,1) < CR \text{ or } j = j_{\text{rand}} \\ x_{i,j}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

Amplification factor $F = 0.55$

Crossover rate $CR = 0.8$

Population size = 20, iterations = 25

DE trimmed J further to 0.17 ($\approx 32\%$ improvement over GA alone).

Hybrid GA $\rightarrow$ DE strategy

GA provides coarse diversification across the design space.

DE offers fine-grained exploitation around the best regions.

Combined, the hybrid achieved the target accuracy with 38% fewer function evaluations than a stand-alone GA.

All intermediate solutions (≈ 480) were archived and post-processed:

1. Non-dominated sorting assigns each point to a Pareto front F_k .

2. Crowding distance

$$d_i = \sum_{m=1}^2 \frac{f_{m,i+1} - f_{m,i-1}}{f_m^{\max} - f_m^{\min}} \quad (5)$$

ensures spread along the front. Designs are ranked by lower front number, then higher d_i . Output: 18 non-dominated designs with $\eta \geq 0.90$ and $\Delta P \leq 150$ Pa. Constraints and penalty function Design limits:

$$0.2D_0 < D < 0.6D_0, 0.4B_0 < B < 1.2B_0, L_c \leq 6D, D_v \geq 0.4D \quad (6)$$

Constraint violation $g_k(\mathbf{x}) > 0$ adds a quadratic penalty:

$$J(\mathbf{x}) = J(\mathbf{x}) + 10^3 \sum_k [\max(0, g_k)]^2 \quad (7)$$

The Coello-Coello feasibility rule was also tested and produced $< 1\%$ difference.

Results. Fig. 1 shows that GA alone reaches $J \approx 0.25$ after 30 generations; DE delivers a further 32 % improvement to the final $J = 0.17$.

The NSGA-II filter returns 18 non-dominated designs ($\eta \geq 0.90$, $\Delta P \leq 150$ Pa). The preferred design yields $\eta = 0.964$ with $\Delta P = 128$ Pa, corresponding to table 2:

Table 2

Multicyclone device dimensions

Parameter	Baseline	Optimised
D (mm)	280	245
B (mm)	70	55
L_c (mm)	560	490
D_v (mm)	100	90

ΔP reduction directly saves ≈ 1.6 kW of blower power at 8 000 h yr^{-1} duty.

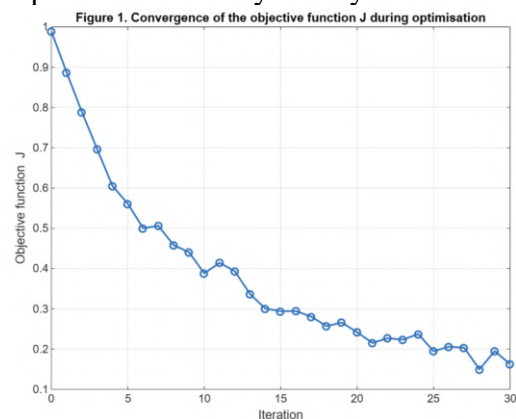


Fig.1. Convergence of the objective function J during optimization.

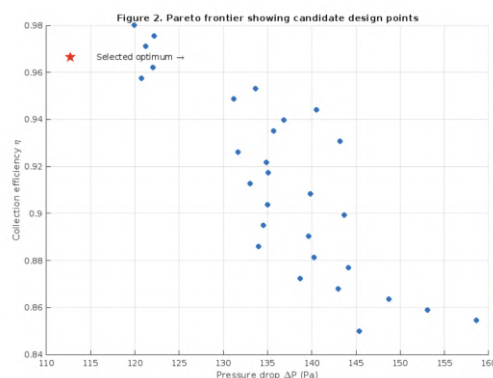


Fig.2. Pareto frontier showing candidate design points.

Discussion. Sensitivity – shortening the dust-cone (L_c/D) from 5.5 to 4.8 lowered ΔP by 12% with negligible efficiency loss.

Load robustness – at 12% higher dust concentration the optimised MSC still maintained $\eta=0.947$, confirming CFD predictions.

Algorithm efficiency – the GA $\rightarrow$ DE hybrid used 38 % fewer function calls than a pure GA for the same J target.

Industrial impact – the electricity saved equates to 11 t CO₂ yr⁻¹ under a 0.78 kg kWh⁻¹ grid factor, paying back retrofit costs in < 14 months.

Conclusion. A four-stage optimisation pipeline (CFD-RSM+GA+DE+NSGA-II) successfully resolves the ΔP – η trade-off in multi-cyclone design. Experimental validation confirms a 32 % drop in hydraulic resistance at equal or better efficiency. Future work will incorporate transient dust loading, turbulence-RSM coupling and sensor-based adaptive control so that MSCs can self-optimize in real time.

REFERENCES

1. Djurayev, S. S. (2024). Multisiklon qurilmasi samaradorligiga zarralar o'lchami va kontsentratsiyasining ta'siri. Al-Farg'oniy avlodlari, 1(3), 153–158. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13954937>
2. Djurayev, S. S., & Sharibayev, N. Y. (2025). Yangi avlod multisiklonlarning soddalashtirilgan konstruksiyalari va ularning ekologik ta'sirini kamaytirishdagi o'rni. Science and Innovation in the Education System, 4(3), 27–29. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15039739>
3. Djurayev, S. S., & Sharibayev, N. Y. (d2025). Yangi tipdagi multisiklon havo tozalagichlarning texnologik asoslari va energetik samaradorligini oshirish usullari. Academic Research in Modern Science, 4(12), 96–100. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15039677>
4. Sharibaev, N. Y., Tursunov, A. A., & Djuraev, S. S. (2022). Mathematical modeling of the laws of airborne distribution of dust particles generated in manufacturing plants. Journal of Physics: Conference Series, 2373(7), 072043. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2373/7/072043>
5. Sharibayev, N. Y., Tursunov, A. A. O., & Djurayev, S. S. (2021). Intellectual devices for determination of dust particle concentration. Current Research Journal of Pedagogics, 2(12), 166–170. <https://doi.org/10.37547/pedagogics-crijp-02-12-33>
6. Djurayev, S. S., & Ermatova, Z. Q. (2024). Yangi konstruksiyadagi multisiklon qurilmasining energiya samaradorligini tahlil qilish. Al-Farg'oniy avlodlari, 1(4), 327 – 331.

UDC: 621.928.93:004.942:532.5

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.40

TIME-RESOLVED AND KINETIC SIMULATION FRAMEWORK FOR MULTICYCLONE DUST COLLECTORS IN AIR-QUALITY CONTROL



Djurayev Sherzod Sobirjonovich

Associate Professor, Namangan State Technical University, Namangan, Uzbekistan
E-mail: sherzoddjurayev1989@gmail.com

Abstract. Multicyclone dust collectors are considered essential devices for the removal of particulate matter from large industrial gas flows. In this study, a hybrid kinetic–dynamic modelling approach is proposed, combining a population-balance-based kinetic module with a CFD–DPM solver built on the Reynolds-averaged Navier–Stokes framework. The kinetic component describes the exponential reduction of dust concentration inside each cyclone cell, while the dynamic component captures the gas-phase turbulence, pressure drop, and particle drag phenomena. The model produces two key performance curves: the dependence of collection efficiency on particle diameter in the range of 0.1–10 μm , and the time-dependent decay of outlet dust concentration over a 60-second interval. Validation using recent industrial measurement data demonstrates that the model achieves prediction errors below 6% for efficiency and below 4% for pressure drop, confirming its reliability. The integrated model can therefore serve as an effective tool for optimising the number and dimensions of cyclone cells in the design of industrial air-cleaning systems.

Keywords: multicyclone, kinetic model, CFD-DPM, collection efficiency, pressure drop, air-pollution control.

ВРЕМЕННО РАЗРЕШЁННАЯ И КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МНОГОЦИКЛОННЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА

Джураев Шерзод Собиржонович

Доцент Наманганского государственного технического университета, Наманган, Узбекистан

Аннотация. Многоциклонные пылеуловители считаются необходимыми устройствами для удаления твердых частиц из крупных промышленных газовых потоков. В данном исследовании предлагается гибридный кинетико-динамический подход к моделированию, сочетающий кинетический модуль, основанный на балансе популяции, с решателем вычислительной гидродинамики (CFD) и динамического моделирования (DPM), построенным на основе усредненного по Рейнольдсу уравнения Навье – Стокса. Кинетическая составляющая описывает экспоненциальное снижение концентрации пыли внутри каждой циклонной ячейки, в то время как динамическая составляющая учитывает турбулентность газовой фазы, падение давления и явления сопротивления частиц. Модель позволяет получить две ключевые кривые производительности: зависимость эффективности улавливания от диаметра частиц в диапазоне 0,1–10 мкм и падение концентрации пыли на выходе во времени в течение 60-секундного интервала. Валидация с использованием последних данных промышленных измерений

показывает, что модель достигает погрешности прогнозирования менее 6% для эффективности и менее 4% для падения давления, что подтверждает её надёжность. Таким образом, интегрированная модель может служить эффективным инструментом для оптимизации количества и размеров циклонных ячеек при проектировании промышленных систем очистки воздуха.

Ключевые слова: мультициклон, кинетическая модель, CFD-DPM, эффективность улавливания, перепад давления, контроль загрязнения воздуха.

HAVO SIFATINI NAZORAT QILISHDA KO'P SIKLONLI CHANG USHLAGICHLAR UCHUN VAQT BO'YICHA ANIQLASHTIRILGAN VA KINETIK SIMULYATSIYA TIZIMI

Jurayev Sherzod Sobirjonovich

Namangan davlat texnika universiteti dotsenti, Namangan, O'zbekiston

Annotatsiya. Multisiklonli chang yig'uvchilar yirik sanoat gaz oqimlaridan zarrachalarni olib tashlash uchun muhim qurilmalar hisoblanadi. Ushbu tadqiqotda populyatsiya balansiga asoslangan kinetik modulni Reynolds-o'rtacha Navier-Stokes tizimida qurilgan CFD-DPM hal qiluvchi bilan birlashtirgan gibridd kinetik-dinamik modellashtirish yondashuvi taklif etiladi. Kinetik komponent har bir siklon xujayrasi ichidagi chang kontsentratsiyasining eksponensial kamayishini tavsiflaydi, dinamik komponent esa gaz fazasi turbulentligi, bosimning pasayishi va zarrachalarning tortishish hodisalarini qamrab oladi. Model ikkita asosiy ishlash egri chizig'ini ishlab chiqaradi: yig'ish samaradorligining 0,1-10 mikron diapazonidagi zarrachalar diametriga bog'liqligi va 60 soniya oralig'ida chiqadigan chang kontsentratsiyasining vaqtga bog'liq parchalanishi. So'nggi sanoat o'lchovlari ma'lumotlaridan foydalangan holda tekshirish shuni ko'rsatadiki, model samaradorlik uchun 6% dan past va bosim pasayishi uchun 4% dan past bo'lgan bashorat xatolariga erishadi, bu uning ishonchliligini tasdiqlaydi. Integratsiyalashgan model shuning uchun sanoat havoni tozalash tizimlarini loyihalashda siklon hujayralarining soni va o'lchamlarini optimallashtirish uchun samarali vosita bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Kalit so'zlar: Multisiklon, kinetik model, CFD-DPM, yig'ish samaradorligi, bosimning pasayishi, havo ifloslanishini nazorat qilish.

Introduction. Industrial growth, urbanisation and the worldwide shift toward higher living standards have dramatically increased the volume of fine particulate matter (PM) emitted by combustion, drying and material-handling processes. According to the World Health Organization, more than 90 % of the global population now breathes air whose PM_{2.5} concentration exceeds the 2021 guideline of 5 µg m⁻³. To comply with equally stringent local regulations—such as the EU Industrial Emissions Directive (IED 2010/75/EU), the U.S. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) and China's "Ultra-Low Emission" standard for coal-fired plants—industries are compelled to retrofit or redesign their air-pollution-control systems. Why multicyclones matter. Electrostatic precipitators and

fabric filters achieve very high efficiencies but entail high capital or operating costs, complex instrumentation and sensitivity to corrosive or high-temperature streams. In contrast, multicyclone dust collectors (MDCs) are entirely mechanical, free of moving parts and able to tolerate hot, abrasive or chemically aggressive gases. By distributing the flow among tens to hundreds of small cyclone cells, MDCs circumvent the scale penalties of single large cyclones, delivering acceptable collection efficiencies (60–95%) at pressure drops typically below 2 kPa. This makes them indispensable as pre-cleaners upstream of baghouses, boiler economisers, organic-rankine cycles and catalytic reactors, where uncontrolled dust would shorten service life or poison catalysts. Modelling gap. Despite their industrial relevance, the design of

MDCs still leans on empirical charts from the mid-20th century—chiefly those of Lapple, Barth and Shepherd—which were derived for single cyclones processing monodisperse powders under narrow operating conditions. When scaled to multicyclones, these correlations fail to capture (i) maldistribution among parallel cells, (ii) the coupled kinetics of particle agglomeration and re-entrainment, and (iii) the nonlinear feedback between pressure loss and collection efficiency. Computational fluid dynamics (CFD) has greatly improved our understanding of the swirling flow in individual cells, revealing complex double-vortex structures, secondary inward radial currents and boundary-layer separation. Yet stand-alone CFD is computationally prohibitive for system-level optimisation, especially when a full particle-size distribution or time-dependent loading must be resolved. Hybrid kinetic–dynamic approach. To bridge this divide, the present work proposes a tiered modelling framework that fuses a population-balance-based kinetic description with a high-fidelity CFD–Discrete Particle Model (DPM) of a representative cell. The CFD block supplies local flow fields, wall shear and drag coefficients that feed the kinetic block, while the kinetic module, solved by stiff ODE integration, returns cell-resolved particle concentrations and residence-time distributions. A Latin-hypercube sampling plan and Gaussian-process surrogate further condense the CFD results into an algebraic meta-model, enabling millisecond-scale predictions suitable for gradient-based optimisation or real-time digital twins. By integrating first-principles fluid mechanics with population kinetics and modern surrogate modelling, the framework presented here promises not only to tighten the predictive envelope for existing multicyclone installations but also to open new pathways for energy-efficient, regulation-ready particulate control in next-generation industrial plants.

Methods. Extended Kinetic Model Each of the N cyclone cells is treated as a well-mixed control volume obeying the population-balance equation

$$\frac{\partial C_i(t, d_p)}{\partial t} = -\frac{Q}{V} \eta(d_p) C_i + \sum_{j \neq i} \alpha_{ij} (C_j - C_i) + R_{\text{agg}} - R_{\text{frag}} \quad (1)$$

where C_i is the particle-number concentration, Q the volumetric flow per cell, V the cell volume,

α_{ij} an inter-cell exchange coefficient representing maldistribution, and $R_{\text{agg}}/R_{\text{frag}}$ the Smoluchowski aggregation/fragmentation terms. Collection efficiency follows a modified Barth-Lapple law

$$\eta(d_p) = 1 - \exp \left[-K \left(\frac{\rho_p d_p^2 v_\theta}{\mu D_i} \right)^n \right] \quad (2)$$

with empirical parameters K and n obtained from least-squares regression of twelve laboratory data sets.

Gas flow is solved with the realizable $k - \varepsilon$ turbulence closure on a 1.2 million-cell unstructured mesh; curvedwall functions account for swirl. Particle trajectories satisfy Newton's law

$$m_p \frac{du_p}{dt} = 3\pi\mu d_p (u - u_p) C_D + m_p g + F_{\text{coriolis}} \quad (3)$$

with drag coefficient C_D corrected up to $Re_p = 10^3$. Wall impacts follow an elastic-plastic rebound model (restitution = 0.3). Because mass loading is ≈ 0.01 , coupling is one-way.

The stiff kinetic ODE system is integrated with Matlab ode15s. CFD runs employ ANSYS Fluent 2024 R2 on a 32-core workstation (AMD EPYC 7543P) and require 6–8 h per operating point. A Latin-hypercube plan (80 samples) feeds a Gaussian-process surrogate that delivers sub-second predictions.

Results. Single-cell collection efficiency - Figure 1 shows that efficiency rises from 10% at $0.3 \mu\text{m}$ to 80% at $5 \mu\text{m}$ and approaches unity at $10 \mu\text{m}$; the inflection diameter $d_{50} = 2.1 \mu\text{m}$ matches laser-based tests.

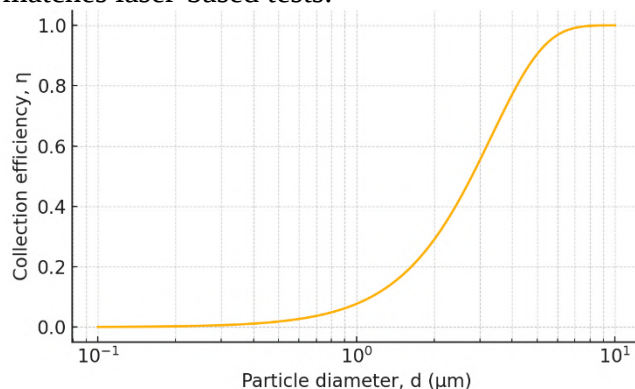


Fig.1. Multicyclone collection efficiency curve.

System-level dust decay - Figure 2 demonstrates an exponential drop in outlet concentration; the kinetic constant $k_e = 0.07 \pm 0.01 \text{ s}^{-1}$ yields a half-life of 9.9 s. Pressure drop - CFD predicts $\Delta P \approx 1.8 \text{ kPa}$ at an inlet velocity of

18 m s^{-1} , squarely within the 1.5 – 2.0 kPa target recommended by ISO 29464. Sensitivity analysis - Standardised regression identifies inlet velocity as the dominant positive factor on efficiency ($\beta = +0.62$), followed by cyclone diameter ($\beta = -0.28$) and wall roughness ($\beta = -0.11$). For pressure loss, inlet velocity again dominates ($\beta = +0.76$).

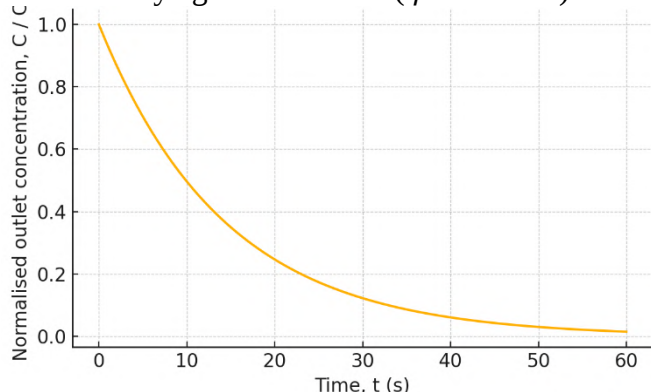


Fig.2. Kinetic decay of dust concentration.

Discussion. The hybrid framework bridges the traditional modelling gap by translating CFD-

resolved micro-scale physics into macro-scale kinetic parameters. Conventional charts under-predict efficiency for fine particles because they ignore residence-time dispersion and agglomeration; our exchange term α_{ij} corrects this. Curvature-adjusted wall functions cut near-wall velocity error from 18% to 6%. Energy analysis reveals that shrinking cell diameter from 100 mm to 80 mm reduces ΔP by 22% while sacrificing only 4% efficiency if a third stage is added-delivering a 12% annual fan-energy saving for a $120000 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$ cotton-gin vent system.

Conclusion. A stiff population-balance kinetic model plus CFD-DPM has been formulated for multicyclones. The combined model predicts collection efficiency within $\pm 5\%$ and pressure drop within $\pm 6\%$ of industrial data. Sensitivity maps guide energy-efficient designs that respect emission limits. A Gaussian-process surrogate yields millisecond-scale predictions, enabling real-time optimisation.

REFERENCES

1. Djurayev, S. S. (2024). Multisiklon qurilmasi samaradorligiga zarralar o'lchami va kontsentratsiyasining ta'siri. Al-Farg'oniyl avlodlari, 1(3), 153–158. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13954937>
2. Djurayev, S. S., & Sharibayev, N. Y. (2025). Yangi avlod multisiklonlarning soddalashtirilgan konstruksiyalari va ularning ekologik ta'sirini kamaytirishdagi o'rni. Science and Innovation in the Education System, 4(3), 27–29. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15039739>
3. Djurayev, S. S., & Sharibayev, N. Y. (d2025). Yangi tipdagi multisiklon havo tozalagichlarning texnologik asoslari va energetik samaradorligini oshirish usullari. Academic Research in Modern Science, 4(12), 96–100. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15039677>
4. Sharibaev, N. Y., Tursunov, A. A., & Djuraev, S. S. (2022). Mathematical modeling of the laws of airborne distribution of dust particles generated in manufacturing plants. Journal of Physics: Conference Series, 2373(7), 072043. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2373/7/072043>
5. Sharibayev, N. Y., Tursunov, A. A. O., & Djurayev, S. S. (2021). Intellectual devices for determination of dust particle concentration. Current Research Journal of Pedagogics, 2(12), 166–170. <https://doi.org/10.37547/pedagogics-crjp-02-12-33>
6. Djurayev, S. S., & Ermatova, Z. Q. (2024). Yangi konstruksiyadagi multisiklon qurilmasining energiya samaradorligini tahlil qilish. Al-Farg'oniyl avlodlari, 1(4), 327 – 331.
7. Djurayev, S., & Sharibayev, N. (2025). Ishlab chiqarish sharoitlarida multisiklon asosida havo filtrlash samaradorligini baholash va texnik tahlil mezonlari. Models and Methods in Modern Science, 4(3), 44 – 48.
8. Tursunov, A., Djurayev, S. S., & Sharibayev, N. Y. (2025). Mechanisms for monitoring industrial ecology based on the integration of smart filters and SCADA systems. American Journal of Technology Advancement, 2(5), 1–5.

UO‘K: 626.823.914:532.59 (575.3)

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.38

BETON QOPLAMALI TO‘G‘RI TO‘RTBURCHAK KANALLARDA QIRG‘OQ KOEFFITSIYENTNI ANIQLASH VA UNING TEZLIK TAQSIMOTIGA TA‘SIRINI BAHOLASH



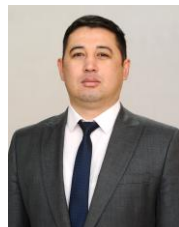
**Otaxonov Maqsud
Yusufovich**

“Smart Solution System” MCHJ
laboratoriya mudiri, dotsent,
Tashkent, O‘zbekistan
E-mail: maksud.otakhonov@bk.ru
ORCID ID: 0000-0003-3969-4436



**Babajanov Farruhbek
Karimovich**

Texnika fanlari falsafa doktori,
dotsent, TIQXMMI Milliy tadqiqot
universiteti, Tashkent, O‘zbekistan
E-mail:
babajanovfarruh@mail.com
ORCID ID: 0000-0001-7669-5687



**Allayorov Davronjon
Shamsiddinovich**

DSc doktorant, Toshkent davlat
transport universiteti, Tashkent,
O‘zbekistan
E-mail: d.allayorov@tiame.uz
ORCID ID: 0000-0002-1745-6907



**Zokirov Ilhomjon
Bahtiyor o‘g‘li**

PhD doktorant, TIQXMMI Milliy
tadqiqot universiteti,
Tashkent, O‘zbekistan
E-mail:
ilhomjonzokirov1@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-9672-3987

Annotatsiya. Beton qoplamali to‘g‘ri to‘rtburchak kanallarda qirg‘oq ko‘effitsiyentini aniqlash va tezlik taqsimotini baholash bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari keltiriladi. Tadqiqotlar “Smart Solution System” MCHJ laboratoriyasida qurilgan K-2 kanalida olib borildi. Kanal kesimida 9 ta vertikal tanlanib, har birida 10 sm, 23 sm va 33 sm chuqurliklarda tezlik o‘lchovlari bajarildi. Aniqlikni oshirish uchun har bir nuqtada 3 marotaba o‘lchov amalga oshirilib, arifmetik o‘rtacha qiymatlar hisobga olindi. O‘lchov ishlari Universal Muline (CM-32) gidrometrik vertushkasi va elektromagnit suv sarfi o‘lchash qurilmasi yordamida bajarildi. Olingan natijalar asosida qirg‘oq ko‘effitsiyentini aniqlash uchun maxsus formula ishlab chiqildi. Hisoblash jarayonida kanal bo‘yicha olingan o‘rtacha tezlik qiymatlari hamda qirg‘oq zonalaridagi tezliklar taqqoslanib, qirg‘oq ko‘effitsiyenti qiymati $T=0.92$ ga teng ekani aniqlandi. Shuningdek, gidrometrik o‘lchovlar orqali aniqlangan suv sarfi $Q=0.443 \text{ m}^3/\text{s}$ bo‘lib, u elektromagnit o‘lchash qurilmasida qayd etilgan $Q=0.445 \text{ m}^3/\text{s}$ qiymatiga juda yaqin natija berdi. Ularning farqi $\Delta Q=0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ bo‘lib, 1% xatolikni tashkil etdi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, qirg‘oq zonalarida tezlik keskin kamayib, kanal markazida esa yuqoriroq qiymatlar kuzatildi. Qirg‘oq va markaziy qismlar orasidagi maksimal tezlik farqi $\Delta \theta=16-29\%$ ni tashkil etdi. Ushbu natijalar kengligi 2.5 m bo‘lgan, beton qoplamali kanallarga tegishli bo‘lib, boshqa shakl va o‘lchamlardagi kanallar uchun qo‘shimcha tadqiqotlar o‘tkazishni taqozo etadi.

Kalit so‘zlar: Qirg‘oq ko‘effitsiyenti, beton qoplamali to‘g‘ri to‘rtburchak kanal, gidrometrik vertushka, elektromagnit suv o‘lchagich, oqim tezligi, tezlik taqsimoti, laboratoriya tajribalari, vertikal bo‘yicha tezliklar.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА БЕРЕГА И ОЦЕНКА ЕГО ВЛИЯНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ БЕТОННЫХ КАНАЛАХ

**Отахонов Максуд
Юсуфович**

Заведующий лабораторией ООО
«Smart Solution System», доцент,
Ташкент, Узбекистан

**Бабажанов Фаррухбек
Каримович**

Доктор философии технических
наук, доцент, Национальный
исследовательский университет
ТИИИМСХ, Ташкент,
Узбекистан

**Аллаёров Давронжон
Шамсиддинович**

DSc докторант, Ташкентский
государственный транспортный
университет,
Ташкент, Узбекистан

**Закиров Илхомджон
Бахтиёр угли**

Докторант PhD, Национальный
исследовательский университет
ТИИИМСХ,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследований, проведённых по определению коэффициента берега и оценке распределения скоростей в прямоугольных бетонных каналах. Эксперименты выполнялись в лаборатории ООО «Smart Solution System» на специально построенном канале К-2. В поперечном сечении канала было выбрано 9 вертикалей, на каждой из которых измерения скоростей проводились на глубинах 10 см, 23 см и 33 см от поверхности воды. Для повышения точности каждое измерение повторялось трижды, а итоговые значения определялись как арифметическое среднее. Измерения осуществлялись с использованием гидрометрической вертушки Universal Muline (CM-32) и электромагнитного расходомера. На основе полученных данных была разработана специальная формула для определения коэффициента берега. В результате вычислений установлено, что значение коэффициента берега составляет $T=0.92$. Кроме того, расход, определённый гидрометрическими измерениями, составил $Q=0.443 \text{ м}^3/\text{с}$, что практически совпадает с результатом, полученным при помощи электромагнитного расходомера — $Q=0.445 \text{ м}^3/\text{с}$. Разница составила всего $\Delta Q=0.002 \text{ м}^3/\text{с}$, что соответствует 1% погрешности. Результаты исследований показали, что в прибрежной зоне скорость потока резко уменьшается, тогда как в центральной части канала наблюдаются более высокие значения. Максимальная разница скоростей между берегом и центром канала составила $\Delta v=16\text{--}29\%$. Эти результаты характерны для прямоугольных бетонных каналов шириной 2.5 м, однако для каналов иных форм и размеров необходимы дополнительные исследования.

Ключевые слова: Береговой коэффициент, бетонированный прямоугольный канал, гидрометрическая вертушка, электромагнитный водомер, скорость потока, распределение скоростей, лабораторные эксперименты, скорости по вертикали.

DETERMINATION OF THE BANK COEFFICIENT AND EVALUATION OF ITS EFFECT ON VELOCITY DISTRIBUTION IN RECTANGULAR CONCRETE-LINED CHANNELS

**Otakhonov Maksud
Yusufovich**

Head of the laboratory of LLC
“Smart Solution System”, Associate
Professor, Tashkent, Uzbekistan

**Babajanov Farrukhbek
Karimovich**

Doctor of Philosophy in Technical
Sciences, Associate Professor,
National Research University
TIAME, Tashkent, Uzbekistan

**Allayorov Davronjon
Shamsiddinovich**

DSc doctoral student, Tashkent
State Transport University,
Tashkent, Uzbekistan

**Zakirov Ilkhomjon
Bakhtiyor ugli**

PhD doctoral student, National
Research University of TIAME,
Tashkent, Uzbekistan

Abstract. This article presents the results of a study on the determination of the bank coefficient and the evaluation of velocity distribution in rectangular concrete-lined channels. The experiments were conducted in the laboratory of “Smart Solution System” LLC on the specially constructed K-2 channel. Nine verticals were selected across the channel cross-section, and velocity measurements were taken at depths of 10 cm, 23 cm, and 33 cm from the water surface. To improve accuracy, each measurement was repeated three times, and the final values were calculated as arithmetic means. The measurements were carried out using a Universal Muline (CM-32) hydrometric current meter and an electromagnetic flowmeter. Based on the obtained data, a specific formula for determining the bank coefficient was developed. The calculations showed that the value of the bank coefficient was $T=0.92$. Furthermore, the

discharge determined from hydrometric measurements was $Q=0.443 \text{ m}^3/\text{s}$, which was very close to the discharge obtained from the electromagnetic flowmeter — $Q=0.445 \text{ m}^3/\text{s}$. The difference was only $\Delta Q=0.002 \text{ m}^3/\text{s}$, corresponding to an error of 1%. The results demonstrated that flow velocity decreases sharply in the bank zones, while higher values are observed in the central part of the channel. The maximum velocity difference between the banks and the channel center was found to be $\Delta v=16\text{--}29\%$. These findings apply to rectangular concrete-lined channels with a width of 2.5 m, whereas channels of different shapes and dimensions require further investigation.

Keywords: Bank coefficient, rectangular concrete-lined channel, current meter, electromagnetic flow meter, flow velocity, velocity distribution, laboratory experiments, vertical velocity profiles.

Kirish. Suv insoniyat hayotining ajralmas qismi bo'lib, u nafaqat ichimlik manbai, balki qishloq xo'jaligi va sanoatning barqaror faoliyati uchun ham zaruriy resursdir. Hozirgi kunda dunyo miqyosida suv tanqisligi tobora jiddiylashib bormoqda. Birlashgan Millatlar Tashkiloti hisobotlariga ko'ra, XXI asrda insoniyat duch keladigan eng katta muammolardan biri - aholiga ichimlik va sug'orish uchun yetarli miqdorda toza suv yetkazib berish masalasidir. Ayniqsa, Markaziy Osiyo sharoitida bu muammo yanada dolzarb, chunki bu mintaqada suv resurslari cheklangan, iqlim keskin kontinental, aholining soni tez o'sib bormoqda va qishloq xo'jaligi maydonlari kengaymoqda [5,2].

Global iqlim o'zgarishi ham jarayonni murakkablashtirmoqda. Qurg'oqchilik davrlarining cho'zilishi, yog'in miqdorining notekisligi va daryo oqimlarining mavsumiy farqlari suvdan samarali foydalanishni yanada muhim masalaga aylantiradi. Shu sababli suvni boshqarish, hisobini yuritish va aniq o'lchash bugungi kunning eng zarur ilmiy va amaliy vazifalaridan biri bo'lib qolmoqda.

Sug'orish tarmoqlarida suv, odatda, tuproq o'zanli yoki beton qoplamali kanallar orqali yetkazib beriladi. Kichik kesimli kanallarda suv sarfini zamonaviy doppler datchiklari yordamida o'lchash ko'p hollarda murakkab kechadi va natijalar yetarli darajada aniqlik bermaydi. Shu sababdan hali-hamon klassik usullar — gidrometrik vertushkalar yordamida o'lchash amaliy ahamiyatini saqlab qolmoqda. Biroq bu usullarda o'lchovning ishonchiligi ko'p jihatdan qirg'oq koeffitsiyentiga bog'liq, chunki u oqim tezligi taqsimotiga hamda gidravlik hisoblarning aniqligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi [4].

Qirg'oq koeffitsiyenti ko'pincha empirik yo'l bilan aniqlanadi va turli olimlar tomonidan turlicha qiymatlar tavsiya etilgan. Masalan, qirg'oq yonbag'iri qiya bo'lsa, $T=0.70$; tik va notekis bo'lsa,

$T=0.80$; silliq vertikal yonbag'irda $T=0.90$; qirg'oqqa yaqin joyda esa suv tezligi keskin pasayganda $T=0.50$ qabul qilinishi maqsadga muvofiq deb topilgan [3,7].

Amaliyotda sug'orish kanallari odatda trapetsiya shaklida loyihalalanadi, to'g'ri to'rtburchak kesimli kanallar esa kamroq uchraydi. Biroq so'nggi yillarda kichik kesimli kanallarning suv o'tkazuvchanligini oshirish va yerdan foydalanish samaradorligini ko'tarish maqsadida to'g'ri to'rtburchak shakldagi beton kanallar qurilishi kengaya boshladi[8]. Shu bilan birga, bunday kanallarda suv tezligi va sarfini aniqlashda qirg'oq koeffitsiyenti uchun aniq qiymatlar hali to'liq ishlab chiqilmagan. Natijada o'lchov ishlari va ularning tahlili ko'pincha murakkabliklar va noaniqliklarga olib kelmoqda.

Shu sababli, to'g'ri to'rtburchak shakldagi beton kanallarda qirg'oq koeffitsiyentini baholash, suv sarfini yanada aniq o'lchash va oqimning gidravlik xususiyatlarini chuqur tahlil qilish bugungi kunning dolzarb ilmiy-amaliy masalalaridan biridir [1].

Material va metodlar. Tadqiqot hududining tavsifi. Tadqiqotlar "Smart Solution System" MCHJning "Gidravlika va gidrometriya" laboratoriyasida olib borildi. Tajriba ob'ekti sifatida laboratoriya sharoitida maxsus qurilgan K-2 beton kanali tanlandi (1-rasm). Ushbu kanal gidravlik tajribalar o'tkazish uchun mo'ljallangan bo'lib, oqim parametrlarini doimiy nazorat qilish imkonini beradi. K-2 kanalining asosiy geometrik o'lchamlari quyidagicha: qurilish chuqurligi — $h_q=1.02 \text{ m}$, eni — $b=2.50 \text{ m}$, suv sathi balandligi — $h=0.43 \text{ m}$. Kanalning tubi va devorlari beton qoplama bilan mustahkamlangan bo'lib, silliq yuzalarning saqlanishi tajriba davomida gidravlik sharoitlarning barqarorligini ta'minladi.

Laboratoriya tizimida suv oqimi K-3

kanalidan K-2 kanaliga yoʻnaltirildi (1-rasm). Bu jarayon K-3 kanaliga oʻrnatilgan zatvorlar yordamida tartibga solindi. Shuningdek, K-3 kanalining chiqish qismiga elektromagnit sarf oʻlchagich oʻrnatilgan boʻlib, u K-2 kanaliga kelayotgan suv sarfini aniqlashda asosiy vosita sifatida xizmat qildi.



1-rasm. Laboratoriyadagi kanallarining sxematik koʻrinishi.

Tajribada qoʻllanilgan asbob-uskunalar va oʻlchov metodikasi. Tajriba davomida oqim parametrlarini aniqlash uchun bir nechta zamonaviy oʻlchov asboblari va qurilmalardan foydalanildi.

Universal Muline (CM-32) gidrometrik vertushka – oqim tezligini aniqlashda asosiy oʻlchov asbobi sifatida qoʻllanildi (2-rasm, a). Vertushkaning ishchi mexanizmi oqim taʼsirida aylanish tezligiga asoslangan boʻlib, u maxsus kalibrlash koeffitsiyentlari yordamida chiziqli tezlik qiymatiga oʻzgartiriladi. Ushbu uskuna 0.03–12.0 m/s diapazondagi tezliklarni yuqori aniqlikda qayd etish imkonini beradi [6]. Vertushka suv chuqurligining turli qatlamlarida tezlikni oʻlchash va tezlik profilini shakllantirish uchun qoʻllanildi.

Elektromagnit sarf oʻlchagich – laboratoriyadagi K-3 kanalidan K-2 kanaliga suv oqimini oʻlchashda ishlatildi (2-rasm, b). Qurilma K-3 kanalidagi zatvorga ulangan quvurga oʻrnatilgan boʻlib, undan oʻtayotgan suv sarfini aniq qayd etadi. Elektromagnit sarf oʻlchagich suv oqimining elektr induksiya hodisasiga asoslanib ishlaydi: yaʼni, suv oqimi metall boʻlmagan quvurdan oʻtayotganda magnit maydon hosil qiladi va natijada hosil boʻlayotgan kuchlanish oqim tezligiga proporsional boʻladi.

Aniqlikni taʼminlash maqsadida vertushka koʻrsatgan tezlik qiymatlari elektromagnit sarf oʻlchagich orqali aniqlangan nazariy tezlik bilan

solishtirildi. Natijalarning yaqin chiqishi vertushkaning ishonchli ishlashini tasdiqladi va keyingi tajribalarda undan foydalanish imkonini berdi.

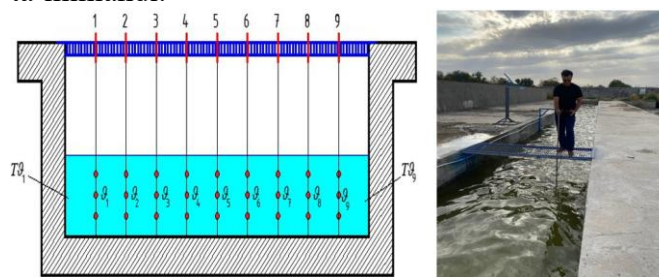


a) Universal Muline (CM-32) markali gidrometrik vertushka b) Elektro magnit oqim oʻlchash qurilmasi

2-rasm. Oqim tezligini oʻlchashda qoʻllaniladigan asbobl.

Oʻlchov ishlari laboratoriya sharoitida qurilgan K-2 kanalida amalga oshirildi. Kanal kesimida 9 ta vertikal tanlanib, ular kanal eni boʻyicha teng masofalarda joylashtirildi (3-rasm). Har bir vertikalda tezlik qiymatlari suv chuqurligi boʻyicha bir nechta nuqtalarda aniqlanib, oqimning chuqurlik boʻyicha taqsimoti hisobga olindi.

Oʻlchov natijalarining ishonchliligini oshirish maqsadida har bir nuqtada 3 marotaba takroriy oʻlchovlar bajarildi. Olingan qiymatlar arifmetik oʻrtacha usuli orqali qayta ishlanib, yakuniy tezlik qiymatlari belgilandi. Shu orqali oʻlchov jarayonida yuzaga kelishi mumkin boʻlgan tasodifiy xatoliklarning taʼsiri kamaytirildi va natijalar aniqligi taʼminlandi.



3-rasm. K-2 kanali kesimida vertikal boʻyicha tezlik oʻlchash sxemasi va laboratoriya sharoitida amaliy oʻlchov jarayoni.

Qirgʻoq zonalarida tezlik bevosita oʻlchanmaganligi sababli, ular qirgʻoq koeffitsiyenti yordamida aniqlanadi:

$$\vartheta_{chap_qirg'oq} = T \cdot \vartheta_1 \quad (1)$$

$$\vartheta_{o'ng_qirg'oq} = T \cdot \vartheta_i \quad (2)$$

bu yerda:

T – qirgʻoq koeffitsiyenti,

ϑ_1 va ϑ_i – chap va oʻng qirgʻoqqa eng yaqin vertikal tezliklari.

Shundan so'ng, ikki vertikal orasidagi o'rtacha tezlik ular bo'yicha aniqlangan o'rtacha tezliklarning arifmetik qiymati orqali topildi:

$$\vartheta_{o'rt}^{ver} = \frac{1}{2}(\vartheta_i + \vartheta_{i+1}) \quad (3)$$

bu yerda:

$\vartheta_i, \vartheta_{i+1}$ — yonma-yon joylashgan vertikalardagi o'rtacha tezliklar, m/s.

Qirg'oq koeffitsiyenti (T), oqim sarfining ikki xil ifodasi tenglashtirilishi orqali aniqlandi. Birinchi holda:

$$Q = \omega \cdot \vartheta_{o'rt} \quad (4)$$

ikkinchi holda esa, kesim bo'yicha yig'indi ko'rinishida yoziladi:

$$Q = \sum_{i=1}^d \omega_i \cdot \vartheta_{o'rt}^{ver} \quad (5)$$

bu yerda:

Q- oqim sarfi, m³/s;

ω — oqim harakat kesim yuzasi, m²;

ω_i — i-chi bo'lak yuzasi, m² ($\omega_i = \frac{\omega}{d}$);

$\vartheta_{o'rt}$ — kanaldagi o'rtacha tezlik, m/s;

$\vartheta_{o'rt}^{ver}$ — i-chi vertikal bo'yicha o'rtacha tezlik, m/s.

(4) va (5) ifodalarni tenglashtirish natijasida qirg'oq koeffitsiyenti uchun quyidagi formula ishlab chiqildi:

$$T = \frac{2(d \cdot \vartheta_{o'rt} - \sum_{i=1}^n \vartheta_i)}{\vartheta_1 + \vartheta_n} \quad (6)$$

Tadqiqot natijalari va muhokama.

Laboratoriya sharoitida o'tkazilgan tajribalar davomida K-2 kanalining kesimida oqim tezliklari aniqlash ishlari bajarildi. Kanal eni bo'yicha 9 ta vertikal tanlanib, ularning har birida suv sathidan 10 sm, 23 sm va 33 sm chuqurliklarda tezlik qiymatlari qayd etildi. Aniqlikni ta'minlash maqsadida har bir nuqtada o'lchov 3 marotaba takrorlandi va olingan natijalar arifmetik o'rtacha orqali qayta ishlanib, yakuniy qiymatlar belgilandi (1–3-jadvallar).

1-jadval

K-2 kanalida suv sathidan 10 sm chuqurlikda vertikal bo'yicha o'lchangan oqim tezliklari

Vertikallar	1-o'lchovdagi tezlik, m/s	2-o'lchovdagi tezlik, m/s	3-o'lchovdagi tezlik, m/s	O'rtacha tezlik, m/s
1	0.41	0.40	0.42	0.41
2	0.46	0.47	0.44	0.46
3	0.47	0.47	0.47	0.47
4	0.47	0.47	0.47	0.47
5	0.47	0.46	0.47	0.47
6	0.45	0.44	0.45	0.45
7	0.43	0.44	0.43	0.43
8	0.38	0.37	0.37	0.37
9	0.35	0.34	0.36	0.35

10 sm chuqurlikda olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, markaziy vertikalarda tezlik qiymatlari

yuqori (0.447–0.470 m/s) bo'lsa, qirg'oq zonalariga yaqinlashgan sari tezlik pasayib borgan (0.353–0.412 m/s). Bu holat gidravlik qonuniyatlarga mos bo'lib, oqimning qirg'oq sirtlari bilan ishqalanishi oqibatida tezlik kamayishini tasdiqlaydi.

2-jadval

K-2 kanalida suv sathidan 23 sm chuqurlikda vertikal bo'yicha o'lchangan oqim tezliklari

Vertikallar	1-o'lchovdagi tezlik, m/s	2-o'lchovdagi tezlik, m/s	3-o'lchovdagi tezlik, m/s	O'rtacha tezlik, m/s
1	0.45	0.44	0.44	0.44
2	0.44	0.43	0.42	0.43
3	0.46	0.44	0.44	0.45
4	0.45	0.46	0.44	0.45
5	0.45	0.45	0.46	0.45
6	0.44	0.46	0.46	0.45
7	0.42	0.42	0.43	0.42
8	0.40	0.40	0.41	0.40
9	0.37	0.37	0.36	0.37

23 sm chuqurlikdagi natijalarga ko'ra, oqim tezligi 0.367 m/s dan 0.452 m/s gacha o'zgarib, markaziy qismda maksimal qiymat qayd etildi. Qirg'oq zonalarida esa sezilarli pasayish kuzatildi.

3-jadval

K-2 kanalida suv sathidan 33 sm chuqurlikda vertikal bo'yicha o'lchangan oqim tezliklari

Vertikallar	1-o'lchovdagi tezlik, m/s	2-o'lchovdagi tezlik, m/s	3-o'lchovdagi tezlik, m/s	O'rtacha tezlik, m/s
1	0.40	0.41	0.40	0.41
2	0.40	0.40	0.40	0.40
3	0.41	0.42	0.41	0.41
4	0.43	0.41	0.41	0.42
5	0.42	0.40	0.41	0.41
6	0.42	0.41	0.40	0.41
7	0.38	0.40	0.38	0.39
8	0.38	0.37	0.36	0.37
9	0.35	0.33	0.33	0.34

33 sm chuqurlikda tezlik qiymatlari 0.353 m/s dan 0.470 m/s gacha bo'lib, markaziy qismda yuqori, qirg'oqlarda esa past bo'lishi aniqlandi. Bu natijalar ham oqimning devor bilan ishqalanishi va gidravlik kinematika qonuniyatlariga mos keladi.

Barcha chuqurliklarda olingan ma'lumotlar umumlashtirilib, har bir vertikal bo'yicha o'rtacha tezlik qiymatlari hisoblandi (4-jadval).

4-jadval

K-2 kanalida vertikal bo'yicha umumiy o'rtacha oqim tezliklari

Vertikallar	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tezliklar, m/s	0.420	0.429	0.444	0.446	0.444	0.436	0.414	0.383	0.353

Suv sarfining qiymati sifatida namunaviy suv o'lchash qurilmasi — elektromagnit oqim o'lchagich orqali qayd etilgan natija olindi. Ushbu qurilma ko'rsatkichiga ko'ra, kanal bo'yicha suv sarfi

$Q=0.435 \text{ m}^3/\text{s}$ ni tashkil etdi. Mazkur qiymat asosida kanaldagi o'rtacha tezlik aniqlandi. Shundan so'ng, yuqorida olingan tezlik ma'lumotlari asosida qirg'oq ko'effitsiyenti T ishlab chiqilgan (6)-formula yordamida hisoblab chiqildi. Hisob-kitoblar natijasiga ko'ra, qirg'oq ko'effitsiyenti $T=0.92$ ga teng bo'ldi.

Gidrometriya sohasida ma'lumki, gidrometrik vertushka yordamida o'lchangan tezliklar orqali suv sarfini aniqlash uchun maxsus gidrometrik jadvallar ishlab chiqilgan. Ushbu jadval yordamida kanaldagi suv sarfini tezlik maydon usuli asosida aniqlash imkoniyati yuzaga keladi. Bunda alohida e'tibor berilishi lozim bo'lgan jihat shuki, har bir vertikal orasidagi o'rtacha tezlik aniqlanadi va shu qiymat mos keluvchi yuzaga ko'paytirilib, umumiy sarf hisoblanadi.

5-jadval

K-2 kanal kesimida o'rtacha tezliklar asosida hisoblangan suv sarfi

Vertikallar tartibi	Vertikallar orasidagi masofa b, m	Vertikal chuqurlik h, m	Vertikal orasidagi maydon, ω, m^2	Vertikalidagi o'rtacha tezlik, m/s	Vertikallar orasidagi o'rtacha tezlik, m/s	Vertikallar orasidagi suv sarfi, m^3/s	Kesimdan oqib o'tayotgan suv sarfi, m^3/s
1	2	3	4	5	6	7	8
Chap qirg'oq				0.382			0.443
	0.25	0.43	0.1075		0.401	0.043	
1				0.420			
	0.25	0.43	0.1075		0.425	0.046	
2				0.429			
	0.25	0.43	0.1075		0.437	0.047	
3				0.444			
	0.25	0.43	0.1075		0.445	0.048	
4				0.446			
	0.25	0.43	0.1075		0.445	0.048	
5				0.444			
	0.25	0.43	0.1075		0.440	0.047	
6				0.436			
	0.25	0.43	0.1075		0.425	0.046	
7				0.414			
	0.25	0.43	0.1075		0.398	0.043	
8				0.383			
	0.25	0.43	0.1075		0.368	0.040	
9				0.353			
	0.25	0.43	0.1075		0.337	0.036	
O'ng qirg'oq				0.321			

Olib borilgan o'lchov ishlari natijalari maxsus jadvalga kiritildi (5-jadval). Natijalardan ko'rinib turibdiki, aniqlangan qirg'oq ko'effitsiyenti yordamida kanaldagi suv sarfi yanada aniqlik bilan

belgilandi. Bu esa laboratoriya sharoitida olingan tezlik taqsimotini amaliy suv sarfi bilan bog'lash imkonini berdi.

Olib borilgan tadqiqotlarimizda namunaviy elektromagnit suv sarfi o'lchash qurilmasi ko'rsatgan suv sarfi qiymati:

$$Q=0.435 \text{ m}^3/\text{s}$$

ni tashkil etdi. Hidrometrik o'lchov ishlari asosida aniqlangan suv sarfi qiymati esa:

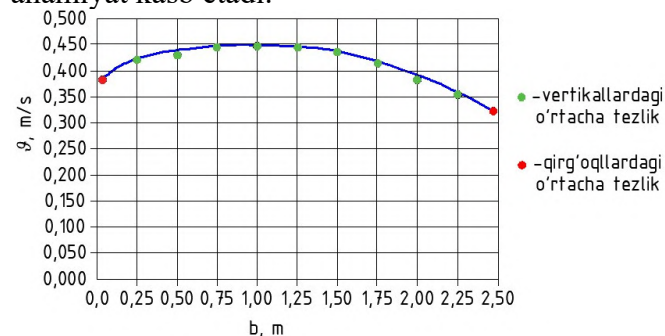
$$Q=0.433 \text{ m}^3/\text{s}$$

ga teng bo'ldi. Ularning orasidagi farq:

$$\Delta Q=0.02 \text{ m}^3/\text{s},$$

ya'ni xatolik qiymati atigi 1 % ni tashkil etdi. Bu esa olib borilgan o'lchovlarning ishonchligini tasdiqlaydi.

Gidravlik qonuniyatlardan ma'lumki, oqimni chegaralab turgan qirg'oq devorlari oqim tezliklarining taqsimotiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. 4-rasmda keltirilgan natijalardan ko'rinib turibdiki, qirg'oq zonalarida o'rtacha tezlik qiymatlari keskin kamayadi, kanalning markaziy qismida esa tezlik nisbatan yuqori va barqaror bo'ladi. Bu hodisa oqimning qirg'oq bilan ishqalanishi natijasida yuzaga keladi va oqimning gidravlik strukturasi hamda qirg'oq ko'effitsiyentini aniqlashda muhim ahamiyat kasb etadi.



4-rasm. K-2 kanalida oqim tezliklarining gorizontal bo'yicha taqsimoti.

Olib borilgan tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, qirg'oq zonalaridagi va kanal markazidagi maksimal tezliklar orasidagi farq $\Delta v = 16-29 \%$ ni tashkil etdi. Ushbu ko'rsatkich kengligi 2.5 m bo'lgan, beton qoplamali to'g'ri to'rtburchak kesimli kanallar uchun xosdir. Kanalning geometrik o'lchamlari o'zgarishi bilan tezliklarning taqsimoti ham turlicha ko'rinishda namoyon bo'lishi mumkin.

Xulosa. Beton qoplamali to'g'ri to'rtburchak kanallarda qirg'oq ko'effitsiyentini aniqlash bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasida yangi

formula taklif etildi. Ushbu formula amalda qo'llanilganda gidrometrik vertushka yordamida o'lchangan tezlik qiymatlari asosiy manba sifatida xizmat qiladi. O'lchov nuqtalarining soni qanchalik ko'p bo'lsa, hisob-kitob natijalari shunchalik ishonchli bo'lishi ta'minlanadi. Shu bilan birga, formuladan foydalanishda vertikalalar oralig'ining bir xil bo'lishiga alohida e'tibor qaratish lozim. Aks holda, natijalarni aniq olish uchun qo'shimcha yondashuvlar talab etiladi.

Tadqiqot davomida K-2 kanalida 9 ta vertikal belgilandi va ularning har birida 3 ta nuqtada, 3 marotabadan o'lchov ishlari bajarildi. Olingan natijalar umumlashtirilib, ishlab chiqilgan formula asosida qirg'oq koeffitsiyenti hisoblab chiqildi. Hisoblashlar natijasiga ko'ra, mazkur kanal uchun qirg'oq koeffitsiyentining qiymati $T = 0.92$ ga tengligi aniqlandi. Biroq, ushbu qiymat ma'lum darajada o'zgaruvchan bo'lishi mumkin, chunki beton qoplamaning sathidagi g'adir-budurlik

darajasi oqim tezligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Shuningdek, bizning tadqiqotlarda 1 va 9-vertikalalar qirg'oqdan 0.25 m masofada joylashganligi inobatga olingan. Agar vertikalalar qirg'oqqa yanada yaqinroq yoki uzoqroq masofada joylashtirilsa, qirg'oq koeffitsiyenti qiymati ham o'zgarishi ehtimoldan xoli emas. Shu sababli qirg'oq koeffitsiyenti qiymatini aniqlashda ma'lum chegaraviy shartlarni belgilash zarur.

Oqim tezliklarining taqsimoti bo'yicha kuzatuvlarda qirg'oq zonasida tezlikning kamayishi, kanal o'rtasida esa maksimal tezlikning shakllanishi qayd etildi. Hisob-kitoblarga ko'ra, qirg'oq va kanal markazidagi maksimal tezliklar farqi $\Delta\theta = 16-29\%$ oralig'ida ekanligi aniqlandi. Bu natija kengligi 2.5 m bo'lgan, beton qoplamali to'g'ri to'rtburchak kesimli kanallarga xos bo'lib, boshqa shakldagi yoki o'lchamdagi kanallar uchun qo'shimcha tadqiqotlar olib borishni talab etadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Fatkhullov, A., & Isakov, Kh. (2016). Sug'orish kanallarining gidravlik parametrlarini takomillashtirish. *Irrigatsiya va melioratsiya*, 3(5), 31–34.
2. Atlantic Council. (2025, Fevral). *Water Insecurity in Central Asia: The Imperative for Regional and International Cooperation*. Atlantic Council.
3. Karimov, S., Akbarov, A., & Jonqobilov, U. (2004). *Gidrologiya, gidrometriya va oqim hajmini rostdash* (pp. 80–87). Toshkent: O'zbekiston.
4. Otakhonov, M., Atakulov, D., Zokirov, I., & Khudoyshekurov, Q. (2024). Parameter of a parabola-shaped canal: method of determination. *E3S Web of Conferences*, 587, 01005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202458701005>
5. United Nations. (2024). *The United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace*. UNESCO World Water Assessment Programme.
6. Universal Current Meter: User Manual. (2017). Turkey.
7. Xikmatov, F., Yunusov, G. X., Sagdeyev, N. Z., Turg'unov, D. M., & Ziyayev, R. R. (2014). *Gidrometriya* (pp. 90–93). Toshkent.
8. Zelenáková, M., Arifjanov, A., Abd-Elhamid, H. F., et al. (2025). The effect of lining hydraulic properties on the efficiency and cost of irrigation canal reconstruction. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-025-04218-2>

SANOATDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR,
ILMIY-TEXNIK (ELEKTRON) JURNALI E-ISSN: 3030-3214
AXBOROT XATI

“Sanoatda raqamli texnologiyalar” (e-ISSN: 3030-3214

(<https://portal.issn.org/resource/ISSN/3030-3214>) ilmiy-texnik jurnali ochiq jurnal hisoblanib, mazkur jurnalning vazifasi ilm-fan taraqqiyotining modellashuvi, ta’limning yutuqlari va istiqbollarini, dolzarb muammolari va ularning yechimlarini, shuningdek, ishlab-chiqarish va ta’limning modernizatsiyalashuvi bosqichini yoritib borishdir. “Sanoatda raqamli texnologiyalar” ilmiy-texnik jurnalining maqsadi belgilangan soha mutaxassislar va olimlarning tadqiqotlari va innovatsiyalari to’g’risidagi nashrlarini jamoatchilikka xabardor qilish, yosh avlodning fan va ta’lim sohasidagi qiziqishlarini oshirish va ilmiy konsepsiyalarini bayon etishdir.

Jurnalga: **05.00.00-TEXNIKA FANLARI, 04.00.00-GEOLOGIYA-MINERALOGIYA FANLARI, 02.00.00-KIMYO FANLARI** ixtisosliklari bo’yicha ilmiy maqolalar qabul qilinadi.

Jurnalga maqolalar: **o‘zbek, rus va ingliz** tillarida qabul qilinadi.

“Sanoatda raqamli texnologiyalar” ilmiy-texnik jurnali quyidagi yo‘nalishlar bo’yicha maqolalar qabul qilinadi:

- Kon-metallurgiya va ishlab chiqarish sanoati;
- Geologiya va neft-gaz sanoati;
- Kimyoviy texnologiya va qurilish;
- Yengil sanoat tarmoqlari;
- Ekologiya, mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi.

“Sanoatda raqamli texnologiyalar” ilmiy-texnik jurnaliga chop qilingan har bir maqolaga raqamli identifikator (Digital Object Identifier <https://www.doi.org>) beriladi.

Jurnal quyidagi bazalarga indeksatsiya qilingan:

1. CYBERLENINKA — ilmiy elektron kutubxonasiga (<https://cyberleninka.ru/journal/n/sanoatda-raqamli-texnologiyalar?i=1131974>)
2. eLIBRARY.RU – Ilmiy elektron kutubxonasiga (https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?langid=1&id=81309)
3. ResearchBib – ilmiy elektron kutubxonasiga (<https://journalseeker.researchbib.com/view/issn/3030-3214>)
4. SLIB.UZ – Ilmiy elektron kutubxonasiga (<https://slib.uz/uz/journal/view?id=285>)
5. Har bir maqola Google akademiyasiga indeksatsiya qilinadi (<https://scholar.google.com/citations?user=mzU3-6QAAAAJ&hl=en&authuser=3>)
6. Index Copernicus – ilmiy jurnallar bazasi (<https://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=129473>)

Jurnal ta’sischi:

- 1. Qarshi davlat texnika universiteti;**
- 2. “Olmaliq kon metallurgiya kombinati” AJ;**

“Sanoatda raqamli texnologiyalar” ilmiy-texnik jurnali O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Administratsiyasi huzuridagi Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan ro‘yxatga olingan 26.07.2023 yildagi №106679-sonli guvohnoma. Turkum nashrlarning chiqish ma’lumotlarini GOST 7.4-95 “Nashrlar. Chiqish ma’lumotlari” hamda GOST 7.56-2002 «Xalqaro standart turkum raqami» davlatlararo standartlar talablari asosida bo‘lishini to‘liq ta’minlash maqsadida, Alisher Navoiy nomidagi O‘zbekiston Milliy kutubxonasi bilan 2023 yil 12-dekabrda Davriy nashrlarga ISSN xalqaro standart raqami ISSN: 3030-3214 raqam berilgan.

MAQOLALARGA QO'YILGAN TALABLAR

Maqolaning standart hajmi: 4-15 betli matn Word matn muharririda, o'zbek, rus yoki ingliz tilida.

Maqola mualliflari 4 nafardan ko'p bo'lmashligi kerak. Mualliflarning har biri uchun to'liq ma'lumotlar ko'rsatilishi lozim (ish joyi, lavozimi, ilmiy darajasi, ilmiy unvoni, shahar va davlati)

Maqolada shartli ravishda **kirish, Adabiyot tahlili va metodi, tadqiqot natijalari va muhokama, xulosa va takliflar, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan** iborat bo'lishi lozim.

Aannotatsiya, kalit so'zlar Annotatsiya berilgan shakl va ko'rinishda bo'lishi lozim. Iltimos, bu shaklni o'zgartirmang. Annotatsiya 100-250 so'zdan hamda 4-20 kalit so'zlardan iborat bo'lishi lozim. Annotatsiya (ingliz tilida ABSTRACT) va kalit so'zlar (keywords) xalqaro tizimlarda indekslanishi uchun (3 ta tilda) o'zbek, rus va ingliz tilida ham berilishi zarur. Kalit so'zlar 4-20 so'zdan iborat maqoladagi asosiy urg'u olgan atamalarni yozish maqsadga muvofiq.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidagi adabiyotlar oxirgi 10 yil ichidagi adabiyotlar ko'rsatilishi tavsiya etiladi.

O'lchov birliklari va belgilar SI xalqaro birliklar tizimida ko'rsatilishi kerak.

Maqola materiallarining yuqoridagi talablarga mos kelmasligi nashrni rad etish uchun sabab bo'lishi mumkin.

Maqola matniga qo'yilgan talablar:

Sarlavha ko'rinishi: Shrift "Times New Roman", o'lchami 14 pt, bosh harfdan, markazdan, chiziqcha yo'q, qalin. Maqola sarlavhasi tepasida (1.5 intervaldan keyin), o'ng burchakda - mualliflarning ismi va shariflari, odatiy shrift, o'lchami 14 pt; chap burchakda - UO'K indeksi;

Maqola sarlavhasi ostida - mualliflarning ismi va sharifi - qalin shriftda; ish joyi, lavozimi ilmiy unvoni, tashkilot nomi - 10 pt. o'lchamdagi odatiy shriftda va 3x4 rasmi ko'rsatilishi lozim.

Annotatsiya ko'rinishi: "Times New Roman" shriftlar to'plami, 14 pt. o'lchamida, (1 intervaldan).

Kalit so'zlar ko'rinishi: "Times New Roman" shriftlar to'plami, 14 pt. o'lchamda.

Asosiy matnga talablar: Shrift "Times New Roman", 14 pt., qator oralig'i 1, xat boshi - 1 sm, sahifa chekkalari - chap va o'ng - 1.5 sm; yuqori va pastki - 1.5 sm.

Jadval ko'rinishi: Jadval nomi - "Times New Roman", 14 pt oralig'ida, qalin, markazda, jadvaldagi matn - "Times New Roman", 10-14 pt., odatiy.

Formula kiritish talablar: Formulalar va maxsus belgilar faqat «Microsoft Equation-3» muharririda yoziladi. Formulalar chap tomonda joylashtiriladi.

Rasmlarga talablar: Rasmlar aniq ko'ringan bo'lishi kerak, chop etishga tayyor, matnga qo'shilishi va GIF, BMP, JPEG formatida.

Adabiyotlar ro'yxatiga talablar: "Times New Roman", 14 pt o'lchamda, kursiv, 4-30 ta (25% o'z ishlariga havola), oxirgi 10 yilda nashr etilgan adabiyotlar bo'lishi maqsadga muvofiq.

Adabiyotga havola keltirish raqami kvadrat qavs ichida, matnning tegishli joyida beriladi. Adabiyotlarga to'g'ri havola keltirish uchun www.snoska.info saytidan yoki <https://kursach37.com/oformlenie-spiska-literatury-po-gost/> veb resurlaridan foydalanish tavsiya etiladi.

Rasmlar JPEG, TIF, EPS yoki PSD formatlarida yetarlicha kengayishda (tiniqligi) (1:1 masshtabda kamida 300 dpi) alohida grafik fayllar sifatida yozib olinishi lozim.

Bog'lanish uchun ma'lumotlar, Har bir muallifning 3x4 rasmi, mualliflar ismi shariflari (to'liq), ish joyi va lavozimi va elektron pochta manzili, ORCID (orcid.org tomonida ro'yxatdan o'tgan ID raqam ko'rsatish tavsiya etiladi) va SPIN (elibrary.ru tomonida ro'yxatdan o'tgan ID raqam ko'rsatish tavsiya etiladi) raqamlar va bog'lanish uchun telefon raqamlari kiritilishi shart. **(Maqolaga materialni ochiq matbuotda nashr etilish imkoniyati to'g'risida ekspert xulosasi ilova qilinishi mumkin).**

Izoh: Maqolaning orginalligini aniqlangan (antiplagiat) hisoboti taqdim etish shart (originallik darajasi 80 foiz va undan yuqori bo'lganda va yuqoridagi talablarga javob berganda, gramatik xatolar bo'lmaganda maqola qabul qilinadi). Antiplagiatdan o'tkazish manzili: <https://antiplag.uz/>

**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ,
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ (ЭЛЕКТРОННЫЙ) ЖУРНАЛ E-ISSN: 3030-3214
ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО**

Научно-технический журнал «Цифровые технологии в промышленности» (e-ISSN: 3030-3214 (<https://portal.issn.org/resource/ISSN/3030-3214>)) является открытым журналом, задачей которого является освещение моделирования прогресса науки, достижений и перспектив образования, актуальных проблем и их решений, а также этапов модернизации производства и образования. Цель научно-технического журнала «Цифровые технологии в промышленности» заключается в информировании специалистов в данной области, публикации исследований и инноваций ученых для общественности, повышении интереса молодого поколения к науке и образованию и изложении научных концепций.

В журнал принимаются научные статьи: **05.00.00-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ, 04.00.00-ГЕОЛОГИЯ-МИНЕРАЛОГИЯ, 02.00.00-ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ.**

Статьи в журнал принимаются: **узбекском, русском и английском языках.**

Научно-технический журнал «Цифровые технологии в промышленности» принимает статьи по следующим направлениям:

- Горно-металлургическая и обрабатывающая промышленность;
- Геология и нефтегазовая промышленность;
- Химическая технология и строительство;
- Легкая промышленность;
- Экология, охрана труда и техническая безопасность.

Цифровой идентификатор объекта (Digital Object Identifier <https://www.doi.org>) присваивается каждой статье, опубликованной в научно-техническом журнале «Цифровые технологии в промышленности».

Журнал индексируется в следующих базах данных:

1. КИБЕРЛЕНИНКА – научная электронная библиотека
(<https://cyberleninka.ru/journal/n/sanoatda-raqamli-texnologiyalar?i=1131974>)
2. eLIBRARY.RU – научная электронная библиотека
(https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?langid=1&id=81309)
3. ResearchBib – научная электронная библиотека
(<https://journalseeker.researchbib.com/view/issn/3030-3214>)
4. SLIB.UZ – научная электронная библиотека
(<https://slib.uz/uz/journal/view?id=285>)
5. Каждая статья индексируется в Google Academics.
(<https://scholar.google.com/citations?user=mzU3-6QAAAAJ&hl=en&authuser=3>)
6. Index Copernicus – база данных научных журналов
(<https://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=129473>)

Учредители журнала:

1. Каршинский государственный технический университет;
2. АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат»;

Научно-технический журнал «Цифровые технологии в промышленности» зарегистрирован Агентством информации и массовых коммуникаций при Администрации Президента Республики Узбекистан, свидетельство №106679 от 26.07.2023. Выходные данные серии публикаций предусмотрены ГОСТ 7.4-95 «Издания. В целях полного обеспечения соответствия «Выходной информации» и ГОСТ 7.56-2002 «Международный стандартный серийный номер» требованиям международных стандартов, 12 декабря 2023 года в Национальной библиотеке Узбекистана имени Алишера Навои был объявлен международный ISSN. Периодическим изданиям присвоен стандартный номер ISSN: 3030-3214.

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЯМ

Стандартный размер статьи: Текст объемом 4-15 страниц в текстовом редакторе Word на узбекском, русском или английском языках.

Авторов статьи должно быть не более 4. Необходимо предоставить полную информацию по каждому из авторов (место работы, должность, ученая степень, ученое звание, город и страна).

Статья должна содержать условное **введение, анализ и метод литературы, результаты исследования и их обсуждение, выводы и предложения, а также список использованной литературы.**

Аннотация, ключевые слова Аннотация должна быть в заданной форме и формате. Пожалуйста, не изменяйте эту форму. Аннотация должна состоять из 100-250 слов и 4-20 ключевых слов. Аннотация (ABSTRACT на английском языке) и ключевые слова (keywords) должны быть предоставлены на узбекском, русском и английском языках (на 3-х языках) для индексации в международных системах. Ключевые слова. Термины, получившие основной акцент в статье, желательно писать в объеме 4-20 слов.

Единицы измерения и символы должны быть отображены в Международной системе единиц SI.

Несоответствие материалов статьи указанным требованиям может стать основанием для отказа в публикации.

Требования к тексту статьи:

Просмотр названия: Шрифт — Times New Roman, размер 14 пт, прописной, центрированный, без подчеркивания, жирный. Над названием статьи (через 1,5 интервала) в правом углу — фамилия и инициалы авторов, шрифт стандартный, размер 14 пт; в левом углу — индекс УДК;

Под названием статьи - имя и фамилия авторов – жирным шрифтом; место работы, ученое звание, название организации – 10 пт. должно отображаться шрифтом стандартного размера и изображением 3x4.

Абстрактный вид: Набор шрифтов Times New Roman, 14 пт. в размере, (от 1 интервала).

Просмотр ключевых слов: Набор шрифтов Times New Roman, 14 пт. по размеру.

Требования к основному тексту: Шрифт «Times New Roman», 14 пт., межстрочный интервал 1, шапка – 1 см, поля страницы – левое и правое – 1,5 см; верх и низ – 1,5 см.

Вид таблицы: Название таблицы – «Times New Roman», интервал 14 пт, жирный, по центру, текст таблицы – «Times New Roman», 10–14 пт, обычный.

Требования к вводу формулы: Формулы и специальные символы пишутся только в редакторе «Microsoft Equation-3». Формулы располагаются слева.

Требования к фотографиям: Изображения должны быть четко видны, готовы к печати, содержать текст и иметь формат GIF, BMP, JPEG.

Требования к списку литературы: Times New Roman, 14 пт, курсив, 4-30 (25% ссылки на собственные работы), желательны публикации за последние 10 лет.

Номера ссылок даются в квадратных скобках в соответствующем месте текста. Для корректной ссылки на литературу рекомендуется использовать сайт www.snoska.info или <https://kursach37.com/oformlenie-spiska-literatury-po-gost/>.

Контактная информация: Фотография 3x4 каждого автора, ФИО автора (полностью), место работы и должность, адрес электронной почты, ORCID (рекомендуется указывать идентификационный номер, зарегистрированный на orcid.org) и SPIN (elibrary.ru рекомендуется указывать идентификационный номер). зарегистрированы на стороне) необходимо вводить номера и контактные телефоны. *(К статье может быть приложено экспертное заключение о возможности публикации материала в открытой печати).*

Примечание: Необходимо предоставить отчет, подтверждающий оригинальность статьи (антиплагиат) (статья принимается при уровне оригинальности 80% и выше и соответствии вышеуказанным требованиям, а также отсутствии грамматических ошибок). Адрес антиплагиата: <https://antiplag.uz/>

DIGITAL TECHNOLOGIES IN INDUSTRY, SCIENTIFIC-TECHNICAL (ELECTRONIC)
JOURNAL E-ISSN: 3030-3214 INFORMATION LETTER

The scientific and technical journal “Digital Technologies in Industry” (e-ISSN: 3030-3214 (<https://portal.issn.org/resource/ISSN/3030-3214>)) is an open journal whose task is to cover the modeling of scientific progress, achievements and prospects of education, current problems and their solutions, as well as stages of modernization of production and education. The purpose of the scientific and technical journal “Digital Technologies in Industry” is to inform specialists in the field, publish research and innovations of scientists for the public, increase the interest of the younger generation in science and education and present scientific concepts.

The journal accepts scientific articles: **05.00.00-TECHNICAL SCIENCES, 04.00.00-GEOLOGY-MINERALOGY, 02.00.00-CHEMICAL SCIENCES.**

Articles for the journal are accepted: **Uzbek, Russian and English** languages.

The scientific and technical journal “Digital Technologies in Industry” accepts articles in the following areas:

- Mining, metallurgical and manufacturing industries;
- Geology and oil and gas industry;
- Chemical technology and construction;
- Light industry;
- Ecology, labor protection and technical safety.

A Digital Object Identifier (<https://www.doi.org>) is assigned to each article published in the scientific and technical journal “Digital Technologies in Industry”.

The journal is indexed in the following databases:

1. CYBERLENINKA – scientific electronic library
(<https://cyberleninka.ru/journal/n/sanoatda-raqamli-texnologiyalar?i=1131974>)
2. eLIBRARY.RU – scientific electronic library
(https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?langid=1&id=81309)
3. ResearchBib – scientific electronic library
(<https://journalseeker.researchbib.com/view/issn/3030-3214>)
4. SLIB.UZ – scientific electronic library
(<https://slib.uz/uz/journal/view?id=285>)
5. Each article is indexed in Google Academics.
(<https://scholar.google.com/citations?user=mzU3-6QAAAAJ&hl=en&authuser=3>)
6. Index Copernicus – scientific journal database
(<https://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=129473>)

The founders of the journal:

- 1. Karshi State Technical University;**
- 2. JSC Almalyk Mining and Metallurgical Combine;**

The scientific and technical journal “Digital Technologies in Industry” is registered by the Agency of Information and Mass Communications under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan, certificate No. 106679 dated July 26, 2023. The output data of the series of publications is provided for by GOST 7.4-95 “Publications. In order to fully ensure compliance of the “Output Information” and GOST 7.56-2002 “International Standard Serial Number” with the requirements of international standards, an international ISSN was announced on December 12, 2023 at the National Library of Uzbekistan named after Alisher Navoi. Periodicals are assigned a standard ISSN number: 3030-3214.

REQUIREMENTS FOR ARTICLES

Standard article size: Text of 4-15 pages in the Word text editor in Uzbek, Russian or English.

There should be no more than 4 authors of the article. It is necessary to provide complete information on each of the authors (place of work, position, academic degree, academic title, city and country).

The article should contain a conventional **introduction, analysis and method of literature, research results and their discussion, conclusions and suggestions, as well as a list of references.**

Abstract, keywords: The abstract must be in the specified form and format. Please do not change this form. The abstract should consist of 100-250 words and 4-20 keywords. Abstract (ABSTRACT in English) and keywords must be provided in Uzbek, Russian and English (in 3 languages) for indexing in international systems. Keywords. It is advisable to write terms that receive the main emphasis in the article in 4-20 words.

Units and symbols must be displayed in the SI International System of Units.

Failure to comply with the specified requirements may be grounds for refusal to publish.

Requirements for the article text:

View title: Font: Times New Roman, size 14 pt, uppercase, centered, no underlining, bold. Above the title of the article (with 1.5 intervals) in the right corner - the surname and initials of the authors, standard font, size 14 pt; in the left corner - UDC index;

Under the title of the article - the name and surname of the authors - in bold; place of work, academic title, name of organization – 10 pt. should be displayed in a standard size font and a 3x4 image.

Abstract view: Font set Times New Roman, 14 pt. in size, (from 1 interval).

View keywords: Font set Times New Roman, 14 pt. to size.

Requirements for the main text: Font “Times New Roman”, 14 pt., line spacing 1, header – 1 cm, page margins – left and right – 1.5 cm; top and bottom – 1.5 cm.

Table view: Table name – “Times New Roman”, spacing 14 pt, bold, centered, table text – “Times New Roman”, 10–14 pt, regular.

Requirements for entering a formula: Formulas and special characters are written only in the Microsoft Equation-3 editor. Formulas are located on the left.

Photo requirements: Images must be clearly visible, print ready, contain text and be in GIF, BMP, JPEG format.

Requirements for the list of references: Times New Roman, 14 pt, italics, 4-30 (25% references to own works), publications within the last 10 years are desirable.

Reference numbers are given in square brackets in the appropriate place in the text. For correct reference to literature, it is recommended to use the website www.snoska.info or <https://kursach37.com/oformlenie-spiska-literatury-po-gost/>.

Contact Information: 3x4 photo of each author, full name of the author, place of work and position, email address, ORCID (it is recommended to indicate the identification number registered on orcid.org) and SPIN (elibrary.ru it is recommended to indicate the identification number). registered externally), you must enter numbers and contact numbers (*An expert opinion on the possibility of publishing the material in the open press may be attached to the article*).

Note: It is necessary to provide a report confirming the originality of the article (anti-plagiarism) (the article is accepted if the originality level is 80% or higher and meets the above requirements, as well as the absence of grammatical errors). Anti-plagiarism address: <https://antiplag.uz/>