



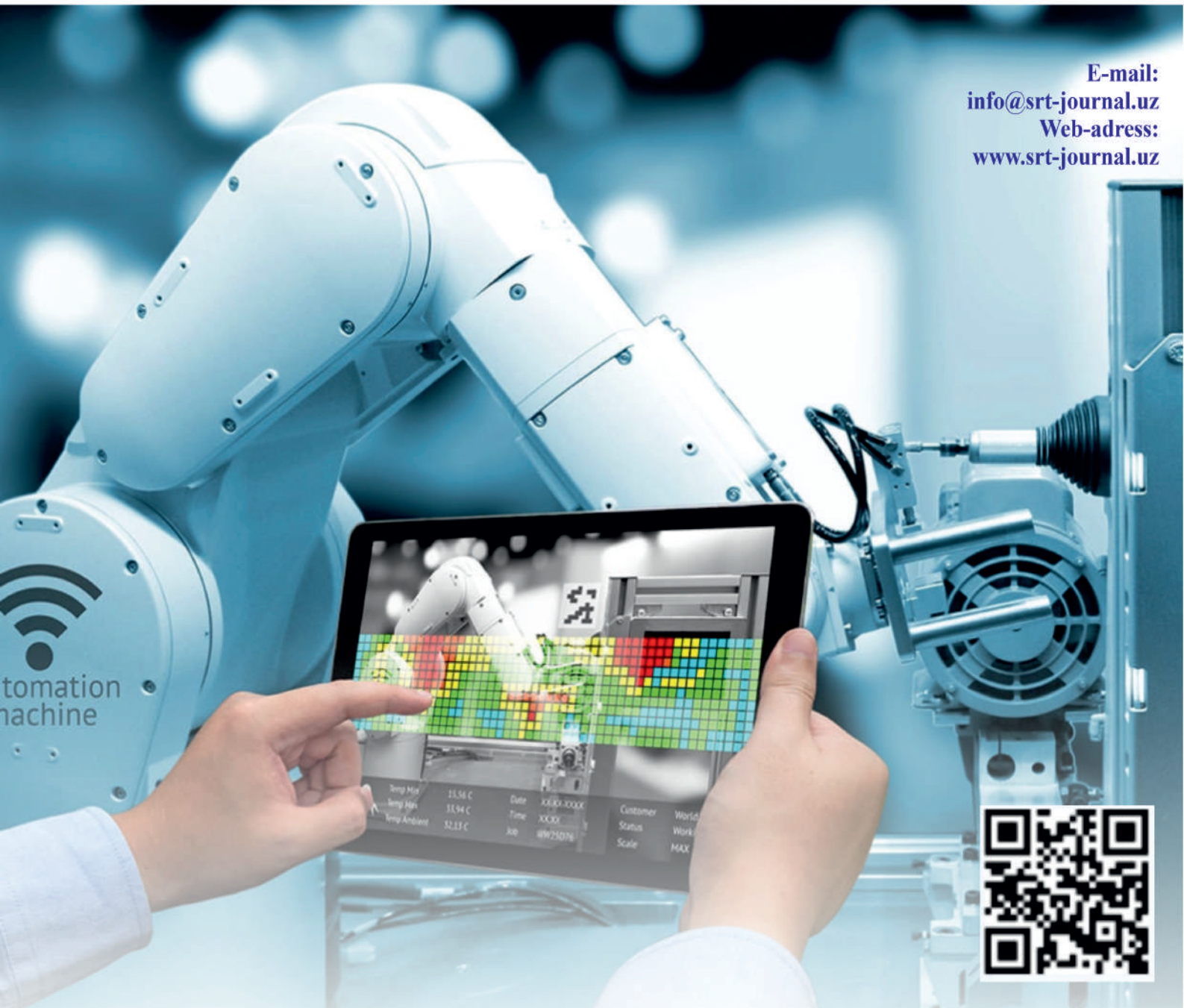
SANOATDA

RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR

Volume 3
№4
December, 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(4) / 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

Texnik muharrirlar

Najmiddin Boymurodov

Ilhom Tog'ayev

Tahliliy guruh

Najmiddin Boymurodov,

Uchqun Eshonqulov,

Oybek Qayumov,

Dizayn

Najmiddin Boymurodov

Jurnalning chop etilishi va elektron shaklini yangilab boruvchi mas'ul

Abbos Shodiyev

Chop qilindi

Terishga topshirilgan sana

15.12.2025-y.

Chop etilgan sana 27.12.2025-y.

Bichimi 60x84 1/8. Times garniturası.

Shartli bosma tabog'i 13,5.

Nashr bosma tabog'i 16,25.

Adadi 30. Buyurtma № 236

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.3.4.2025

TAHRIRIYAT HAY'ATI

Sherzod Nematov, Rektor. Qarshi davlat texnika universiteti, O'zbekiston
Abdulla Xursanov, t.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 Shadrinova, t.f.d., prof. Rossiya fanlar akademiyasi M.V.Melnikov
nomidagi Mineral resurslardan kompleks foydalanish instituti, Rossiya
Gabor Muksi, PhD, DSc, prof. Mishkols universiteti, Vengriya
Marcin Lutynski, PhD, DSc, prof. Sileziya texnologiya universiteti, Polsha
Márton Benke, Prof. Dr., professor, Mishkols universiteti, Vengriya
Tünde Kovács, t.f.d., prof. Óbuda universiteti, Vengriya
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
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 MISi
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
Jamoliddin Todjiyev, k.f.d., prof., O'zbekiston Milliy universiteti,
O'zbekiston
Asqar Parmonov, k.f.d., prof., O'zbekiston Milliy universiteti, O'zbekiston
Aktam Saidaxmedov, t.f.d., dots., Navoiy davlat konchilik va texnoogiyalar
universiteti, Navoiy, O'zbekiston
Shaxriddin Turobov, t.f.f.d., dots., Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar
universiteti, 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
Najmiddin Boymurodov, t.f.f.d., PhD., 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

Xasanov Abdirashid Saliyevich, Eshonqulov Uchqun Xudaynazar o'g'li, Saipov Xamza Abdurashidovich, Xasanov Ulug'bek Abdurashidovich. O'zbekistonda vismut ishlab chiqarish xomashyo bazasi va ulardan vismutni ajratib olish imkoniyatlarini tadqiq qilish 10

Umirov Farxod Ergashovich, Aripov Avaz Rozikovich, Pirnazarov Feruz G'ulomovich, Sayfullayev Farruxjon Ibodovich. Uchtut konidan olingan saponit mineralining mineralogik tarkibi va undan magniy birikmalarini ajratib olish imkoniyatlari 20

Taxirova Nargisa Baxriddinova, Muxammadova Umida Xusan qizi, Temirov O'ktam Shavkatovich. Xojakul va porlitau fosforitlarining mineralogik tarkibida temir minerallarini o'rganish 26

Azimova Durdona Abdulloyevna, Norqulov Mehriddin Isoqul o'g'li. Ishqoriy muhitda faollashtirilgan defekat chiqindisining IQ-Spektroskopik tahlili 31

Sattorov Laziz Xolmurodovich, Kurbanov Abdiraxim Axmedovich, Juraeva Huriyat Zoirovna. Tolali, issiqlik o'tkazmaydigan, filtrlovchi materiallar va texnik mahsulotlar ishlab chiqarish texnologiyasini ishlab chiqish 36

Azimov Oybek Axmadovich, Sattarova Shahlo G'ayvillo qizi, Narzullayev Jahongir Norbobo o'g'li, Asrorov Anvar Axrorovich. Dastlabki ultratovushli ishlov berishning rudadan oltinning markazdan qochma konsentratsiyasi samaradorligiga ta'siri 42

Voxidov Baxriddin Raxmidinovich, Rustamov Islomjon Ilhomovich, Raximov Maxmudjon Murodjonovich, Azimov Oybek Axmadovich. Kuydirilgan molibden oralik mahsulotini tanlab eritishning qattiq chiqindilaridan mis, temir va qimmatbaho metallarni ajratib olishni tadqiq qilish 47

Boynazarov O'rol Ravshanovich, Xasanov Abdirashid Saliyevich. Sanoatda detallarning yeyilishini oldini olish usullari 53

Rajabov Shaxboz Xolmamatovich, Xakimov Kamol Jurayevich. Xondiza koni polimetall rudalarini flotatsion boyitishni tadqiq qilish 60

Bilyuk Egor Viktorovich. Python yordamida geodezik ma'lumotlar asosida Mikashevich granit karyerining ortofotoplani o'rnini bosadigan nuqtalar bulutini hosil qilish 67

Azizov Sanjarbek Muxammadovich, Kadirov Yorqin Bahodirovich. Flotatsiya mashinasining sirt ko'pikli qatlamidagi pufakchalar tezligini hisoblash usullari 71

Yusupov Ural Sadullayevich, Xasanov Adxam Amankulovich, Turobov Shahriddin Nasritdinovich, Boymurodov Najmiddin Abduqodirovich. Sheelit konsentratlarining parchalanishi, volfram boyitmasini ko'machlash va tanlab eritish jarayonlarining texnologik tahlili 78

Aripov Avaz Rozikovich, Sayfullayev Farruxjon Ibodovich, Qurbonov Mehrob Nuriddinovich, Jabborova Surayyo G'ulomovna. Oltin saqlovchi rudalarni ekologik jihatdan xavfsiz qayta ishlash imkoniyatlari 84

Almatov Ilxomjon Mirzabek o'g'li, Bekpulatov Javlon Mustafokuliyevich, Alimov Dilshod Shirinkulovich. Go'shsoy koni alunit ma'dani texnologik namunalarning flotatsion boyitiluvchanligini tadqiq qilish 89

Xalimov Shoxrux Komiljon o'g'li, Saidahmedov Aktam Abdisamiyevich. Mis-molibden rudalarini flotatsiyalashda mahalliy reagentlardan foydalanish tahlili 94

Turdiyev Shahboz Shermamat o'g'li, Turdiyev Farid Razzoq o'g'li. Chiqindi madanlardan nodir metallarni ajratib olishni o'rganish va ilmiy tadqiq etish 99

Alimov Shoxriddin Muxammadovich, Axmedov Ulug'bek Azamat o'g'li, Kayrbayev Isa Baxtiyar uli. Portlatish ishlarida detonatori skvajinadagi zaryadning maqbul ko'rsatgichlariga joylashtirish orqali tog' jinslarining maydalanish darajasini oshirish 104

Saidaxmedov Aktam Abdisamiyevich. Qo'rg'oshin xlorid eritmasidan qo'rg'oshinni cho'ktirish qonuniyatlarini tadqiq qilish 109

Karimov Yoqub Latipovich, Latipov Zuxriddin Yoqub o'g'li, Islomov Mirjalol Alisher o'g'li, Amirov Ramz Rashid o'g'li. Yer osti lahimlarida tushayotgan kon bosimining ta'sirini aniqlash va asoslash 114

Usmankulov Orifjon Naziraliyevich, Xasanov Abdirashid Saliyevich, Yusupov Ural Sadullaevich, Eshonkulova Gulmira Rashidovna. Platina xloridlarining kompleks hosil qilish xossalari va oksidlanish bosqichlari 119

Xo'jaqulov Nurmurod Botirovich, Ro'ziyev Ulug'bek Mamarasulovich, Ibotov Bobur Odil o'g'li. "NKMK" AJ "Auminzo-amantoy" koni oltin ajratish sexi texnogen chiqindilarini tadqiq qilish 124

GEOLOGIYA VA NEFT-GAZ SANOATI

Azimov Salohiddin Turamurodovich, Raximov G'anisher Baxtiyrovich. Karbonli po'latlarda yuqori haroratli vodorod ta'siri (HTHA), mikrostrukturaviy degradatsiya, zarar yetkazish mexanizmi va texnologik oldini olish usullari 129

Azimov Salohiddin Turamurodovich, Raximov G'anisher Baxtiyrovich, Buronov Firdavsiy Eshburiyevich. Materiallarni payvandlash jarayonida oldindan qizdirish (preheat) va payvanddan keyingi issiqlik bilan ishlov (pwht) berish usullarining ilmiy asoslari va amaliy ahamiyati 135

Asadova Hulkar Boymonovna, Sultonov Nodir Normurodovich, Kurbanov Aziz Teshavoyevich. Darzli-g'ovakli karbonat kollektorlaridan neftni suv bilan siqib chiqarish koeffitsiyentini baholashga kompleks yondashuv 141

Eshmurodov Otabek Rajabovich, Sanetullayev Yernazar Yesbosynovich, Ahmedov Shovdullo Shuxratovich, Ruzmanov Farhod Ismoilovich. Quduqlarni kapital ta'mirlashda yuvish suyuqligi asoratlarni tahlil qilish 147

Dustqobilov Eldor Nurmatovich, Yuldashev Tashmurza Raxmonovich, Djumabayev Alijon Bakishyevich. Konlarda neft va gaz mahsulotlarini yig'ish, tashish va saqlashda qo'llaniladigan jihozlarni va uskunalarni korroziyadan himoya qilish usullari va vositalarini tanlash 152

Yuldashev Tashmurza Raxmanovich, Turdiyev Shahboz Shermanat o'g'li. Tabiiy gazlarni alkanolaminli eritmalarning kombinatsiyalangan absorblentlari yordamida uglerod dioksidi va oltingugurtdan tozalash darajasining bosim va haroratga bog'liqligini tadqiq qilish 159

Xalimatov Irmuxamat, Zakirov Ravshan Tulkinovich, Shomurodov Shohboz Erol o'g'li. Shimoliy Berdax konida suvlangan gaz quduqlarini ekspluatatsiya qilish usullari 167

Ochilov Iles Saidovich, Axmedov Shovdullo Shuxratovich, Arapov Sobid Zokir o'g'li, Boboqulova Zebo Bahodir qizi. Chaqilkalon-Qoratepa tog'laridagi yaxton ma'danli maydonining ma'dan magmatik tizimlari 173

Ayupova Nodira Abbos qizi. Divalkak konining quyi-o'rta yura davri terrigen yotqiziqlarining samarali gorizontlari bo'yicha raqamli geologik modelni qurish (O'zbekiston Respublikasi) 178

Hasanov No'monjon Raxmatovich. Kosmik suratlarni avtomatik va vizual deshifrlashdan olingan natijalari (Kumbogut istiqbolli maydoni misolida) 184

Sharafutdinova Leyla Pulatovna, Raxmonova Sevara Toshpo'lat qizi. Gamma-karotaj asosida Atorboy qudug'i №1 qumli kollektorlarning Muromtsev usuli asosida fatsial va formatsion talqini 190

KIMYOVIY TEXNOLOGIYA VA QURILISH

Avezova Nilufar Rabbanaqulovna, Usmanov Abdurauf Yuldashboyevich. Avtonom gibrid biogaz qurilmasining ko'p mezonli optimallashtirilishi: o'zini oqlash muddati, energiya yo'qotishlari va CO₂ emissiyasini kamaytirish 194

Murodov Doston Muhsin o'g'li, Niyozov Alisher Kamilovich, Axmedov Voxid Nizomovich, Beshimov Islom Akmaljonovich. Suyuq shishani modifikatsiyalash orqali reologik, adgezion xossalari o'zgarishining tadqiqi 205

Sitmuratov Tulkinbek Sabirbayevich, Rakhmatullina Alevtina Petrovna. 5-HMF sintezi sharhi: kataliz va texnologiyalar 211

Abdirashidov Durbek Abdirashid o'g'li, Turayev Xayit Xudoynazarovich, Tojiyev Panji Jovliyevich, Bozorov Lutfulla Ubaydullayevich. Polivinilxlorid va mineral to'ldiruvchilar asosida olovbardosh materiallar olish 223

Plaxtiyev Anatoliy Mexaylovich, Meliboyev Yax'yojon A'zamjon o'g'li, Xasanov Otabek Abdumo'min o'g'li. Yuqori tokli kontaktsiz o'zgartkichlarda qo'shni shinalar toklarining nazorat-boshqaruv tizimlariga ta'siri va undan kelib chiqadigan xatoliklarni tahlili 228

YENGIL SANOAT TARMOQLARI

Hanzayev Dilshod Inomjonovich. Paxta namligini tez aniqlash 236

EKOLOGIYA, MEHNAT MUHOFAZASI VA TEXNIKA XAVFSIZLIGI

Jumaboyev Ramazon Po'latbek o'g'li. Suv resurslarini boshqarish va muhofaza qilish masalalari uchun yer osti suvlarini matematik modellashtirish asoslari 240

Norqobilova Feruza Abduhomidovna, Xoliyorova Hilola Komil qizi. Ekonometrik tadqiqotlarda axborot texnologiyalarining ahamiyati: Eviews dasturining imkoniyatlari 246

Egamberdiyev Azimjon Abdurasul o'g'li, Jo'rayev Sherzod Sobirjonovich. Robotlashtirilgan manipulyatorlarda noravshan mantiqiy boshqaruv: mantiqqa asoslangan qiyosiy tahlil 250

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И ОБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Хасанов Абдирашид Салиевич, Эшонкулов Учкун Худайназар угли, Саипов Хамза Абдурашидович, Хасанов Улугбек Абдирашидович. Исследование сырьевой базы производства висмута в Узбекистане и возможности его извлечения 10

Умиров Фарход Эргашевич, Арипов Аваз Розикович, Пирназаров Феруз Гуломович, Сайфуллаев Фаррухжон Ибодович. Минералогический состав сапонита из Учтутского месторождения и возможности извлечения из него магниевого соединения 20

Тахирова Наргиса Бахриддиновна, Мухамматова Умида Хусан кизи, Темиров Уктам Шавкатович. Изучение минералов железа в минералогическом составе фосфоритов Ходжакуля и порлитау 26

Азимова Дурдона Абдуллоевна, Норкулов Мехриддин Исокул угли. ИК-Спектроскопический анализ дефеката, активированного в щелочной среде 31

Сатторов Лазиз Холмуродович, Курбанов Абдирахим Ахмедович, Джурсаева Хурият Зоировна. Разработка технологии производства волокнистых, теплоизоляционных, фильтрующих материалов и технических изделий 36

Азимов Ойбек Ахмадович, Саттарова Шахло Гайвилло кизи, Нарзуллаев Жахонгир Норбобо угли, Асроров Анвар Ахрорович. Влияние предварительной ультразвуковой обработки на эффективность центробежной концентрации золота из руды 42

Вохидов Бахриддин Рахмидинович, Рустамов Исломжон Илхомович, Рахимов Махмуджон Муроджонович, Азимов Ойбек Ахмадович. Исследование извлечение меди, железа и благородных металлов из твердых отходов выщелачивания обожженного молибденового промпродукта 47

Бойназаров Урал Рашианович, Хасанов Абдирашид Салиевич. Методы предотвращения разъедания деталей в промышленности 53

Ражабов Шахбоз Холмаматович, Хакимов Камол Жураевич. Исследование флотационного обогащения полиметаллических руд Хандизского месторождения 60

Бильдюк Егор Викторович. Применение Python для формирования облака точек, имитирующего ортофотоплан, на основе геодезических данных гранитного карьера Микашевичи 67

Азизов Санжарбек Мухаммадович, Кадилов Ёркин Баходирович. Методы вычисления скорости пузырьков в поверхностном пенном слое флотационной машины 71

Юсупов Урал Садуллаевич, Хасанов Адхам Аманкулович, Туробов Шахриддин Насритдинович, Боймуродов Нажмиддин Абдукадирович. Технологический анализ процессов разложения шеселитовых концентратов, спекания и выщелачивания вольфрамового концентрата 78

Арипов Аваз Розикович, Сайфуллаев Фаррухжон Ибодович, Курбанов Мехроб Нуриддинович, Джабборова Сурайё Гуламовна. Возможности экологически безопасной переработки золотосодержащих руд 84

Алматов Илхомжон Мирзабек угли, Бекпулатов Жавлон Мустафокулиевич, Алимов Дилишод Ширинкулович. Исследование флотационной обогатимости технологических проб алунитовой руды месторождения Гушсай 89

Халимов Шохрух Комижон угли, Саидахмедов Ақтам Абдисамиевич. Анализ использования местных реагентов при флотации медно-молибденовых руд 94

Турдиев Шахбоз Шермамат угли, Турдиев Фарид Раззок угли. Изучение и исследование отвальных руд с извлечением благородных металлов 99

Алимов Шохриддин Мухамматович, Ахмедов Улугбек Азамат угли, Каирбаев Иса Бахтияр улы. Влияние расположения детонатора на дробление породы на открытых горных работах важная роль 104

Саидахмедов Ақтам Абдисамиевич. Исследование закономерностей осаждения свинца из раствора хлорида свинца 109

Каримов Ёкуб Латипович, Латипов Зухриддин Ёкуб угли, Исламов Мирджалол Алишер угли, Амиров Рамз Рашид угли. Определение и обоснование влияния падающего горного давления в подземных выработках 114

Усманкулов Орифжон Назиралиевич, Хасанов Абдирашид Салиевич, Юсупов Урал Садуллаевич, Эшонкулова Гульмира Рашидовна. Свойства комплексообразования и стадии окисления хлоридов платины 119

Ходжакулов Нурмурад Ботирович, Рузиев Улугбек Мамарасулович, Иботов Бобур Одил угли. Исследование техногенных отходов золотоизвлекательного цеха рудника «Ауминзо-амантой» АО «НГМК» 124

ГЕОЛОГИЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Азимов Салохиддин Турамурадович, Рахимов Ганишер Бахтиёрвич. Высокотемпературное водородное воздействие (НТНА) на углеродистые стали, микроструктурная деградация, механизм повреждения и технологические методы предотвращения ... 129

Азимов Салохиддин Турамурадович, Рахимов Ганишер Бахтиёрвич, Буранов Фирдавси Эшбуриевич. Научные основы и практическое значение методов предварительного подогрева (preheat) и термообработки после сварки (pwht) в процессе сварки 135

Асадова Хулкар Боймановна, Султонов Нодир Нормуродович, Курбанов Азиз Тешиаевич. Комплексный подход к оценке коэффициента вытеснения нефти водой в трещиновато-пористых карбонатных коллекторах 141

Эшмуродов Отабек Ражабович, Санетуллаев Ерназар Есбосынович, Ахмедов Шовдулло Шухратович, Рузманов Фарход Исмоилович. Анализ осложнений, связанных с промывочной жидкости в капитальном ремонте скважин 147

Дусткобилов Эльдор Нурмаматович, Юлдашев Таимурза Рахмонович, Джумабаев Алижон Бакышевич. Выбор методов и средств защиты от коррозии оборудования и аппаратуры, используемых при сборе, транспортировке и хранении нефтегазовых продуктов на промыслах 152

Юлдашев Таимурза Рахмонович, Турдиев Шахбоз Шермамат угли. Исследование зависимости степени очистки природных газов от диоксида углерода и серы комбинированными абсорбентами алканоламиновых растворов от давления и температуры 159

Халисमतов Ирмухамат, Закирова Равиана Тулкинович, Шомуродов Шохбоз Ерол угли. Методы эксплуатации обводняющихся газовых скважин месторождения шимолей Бердах 167

Очилов Илес Саидович, Ахмедов Шовдулло Шухратович, Арапов Собид Зокир угли, Бобокулова Зебо Баходир кизи. Рудно-магматические системы Яхтанского рудного поля Чакылкалан-Каратепинских гор 173

Аюпова Нодира Аббос кизи. Построение цифровой геологической модели продуктивных горизонтов ниже-средне юрских терригенных отложений месторождения Дивалкак (Республика Узбекистан) 178

Хасанов Нумонжон Рахматович. Результаты автоматического и визуального дешифрирования космических снимков (на примере перспективного Кунбугутского участка) 184

Шарафутдинова Лейла Пулатовна, Рахмонова Севара Тошпулат кизи. Фациальная и формационная интерпретация песчаных коллекторов скважины Аторбой №1 на основе гамма-каротажа по методу муромцева 190

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО

Авезова Нилуфар Раббанакуловна, Усманов Абдурауф Юлдашбоевич. Многокритериальная оптимизация автономной гибридной биогазовой установки: минимизация окупаемости, энергопотерь и выбросов CO₂ 194

Муродов Достон Мухсин угли, Ниёзов Алишер Камилевич, Ахмедов Вохид Низомович, Бешимов Ислом Акмалжонович. Исследование изменения реологических и адгезионных свойств при модификации жидкого стекла 205

Ситмуратов Тулкинбек Сабирбаевич, Рахматуллина Алевтина Петровна. Обзор 5- ГМФ синтеза: катализ и технологии . 211

Абдирашидов Дурбек Абдирашид угли, Тураев Хаит Худойназарович, Тоджиев Панджи Жовлиевич, Бозоров Лутфулла Убайдуллаевич. Получение огнестойких материалов на основе поливинилхлорида и минеральных наполнителей 223

Плахтиев Анатолий Михайлович, Мелибоев Яхёжон Аъзамжон угли, Хасанов Отабек Абдумунин угли. Анализ влияния токов соседних шин на системы контроля и управления в бесконтактных преобразователях высокого напряжения и возникающих вследствие этого ошибок 228

ЛЕГКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Хамзаев Дилишод Иномджонович. Быстрое определение влажности хлопка 236

ЭКОЛОГИЯ, ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Жумабаев Рамазан Полатбек улы. Основы математического моделирования подземных вод для задач управления и охраны водных ресурсов 240

Норкobilова Феруза Абдухамидовна, Холиёрова Хилола Комил кизи. Роль информационных технологий в эконометрических исследованиях: возможности программного обеспечения EViews 246

Эгамбердиев Азимжон Абдурасул угли, Джураев Шерзод Собиржонович. Нечеткое логическое управление в робототехнических манипуляторах: сравнительный анализ на основе логики 250

CONTENTS

MINING METALLURGY AND MANUFACTURING INDUSTRY

Khasanov Abdirashid Salievich, Eshonkulov Uchkun Khudaynazar ugli, Saipov Khamza Abdurashidovich, Khasanov Ulugbek Abdirashidovich. Study of the raw material base for bismuth production in Uzbekistan and the possibilities of extracting bismuth from them 10

Umirov Farkhod Ergashovich, Aripov Avaz Rozikovich, Pirnazarov Feruz Gulomovich, Saifullaev Farrukhjon Ibodovich. Mineralogical composition of saponite mineral from the Uchtut deposit and possibilities of extracting magnesium compounds from it 20

Takhirova Nargiza Bakhridinova, Mukhammatova Umida Khusan kizi, Temirov Uktam Shavkatovich. Study of iron minerals in the mineralogical composition of Khojakul and Porlitau phosphorites 26

Azimova Durdona, Norkulov Mexridin. IR Spectroscopic analysis of defecate waste activated in alkaline medium 31

Sattorov Laziz Kholmurodovich, Kurbanov Abdiraxim Axmedovich, Juraeva Huriyat Zoirovna. Development of production technology for fibrous, heat-insulating, filtering materials and technical products 36

Azimov Oybek Akhmadovich, Sattarova Shahlo Gayvilo kizi, Narzullayev Jahongir Norbobo ugli, Asrorov Anvar Ahrorovich. Influence of preliminary ultrasonic treatment on the effectiveness of centrifugal gold concentration from ore 42

Vokhidov Bakhridin Rakhmidinovich, Rustamov Islomjon Ilkhomovich, Rakhimov Makhmudjon Murodjonovich, Azimov Oybek Akhmadovich. Study of extraction of copper, iron and noble metals from solid waste of leaching of calcined molybdenum intermediate product 47

Boynazarov Ural Ravshanovich, Khasanov Abdirashid Salievich. Methods of preventing parts corrosion in industry 53

Rajabov Shahboz Kholmamatovich, Khakimov Kamol Juraevich. Research on flotation beneficiation of polymetallic ores of the Khondiza deposit 60

Bildyuk Egor Viktorovich. Application of Python for generating a point cloud replacing the orthophoto plan based on geodetic data of the mikashevichi granite quarry 67

Azizov Sanjarbek, Kadirov Yorkin. Methods for calculating bubble velocity in the surface foam layer of a flotation machine 71

Yusupov Ural Sadullaevich, Khasanov Adham Amankulovich, Turobov Shahriddin Nasritdinovich, Boymurodov Najmiddin Abdukadirovich. Technological analysis of the processes of decomposition of scheelite concentrates, coating and leaching of tungsten concentrate 78

Aripov Avaz Rozikovich, Sayfullaev Farrukhjon Ibodovich, Kurbonov Mekhrob Nuriddinovich, Jabbarova Surayo Gulamovna. Possibilities of environmentally safe processing of gold-containing ores 84

Almatov Ilkhomjon, Bekpulatov Javlon, Alimov Dilshod. Investigation of the flotation enrichability of technological samples of alunite ores from the Gushsai deposit 89

Khalimov Shokhrukh Komiljon ugli, Saidahmedov Aktam Abdisamievich. Analysis of the use of local reagents in the flotation of copper-molibdenic ores 94

Turdiyev Shahboz Shermamat ugli, Turdiyev Farid Razzoq ugli. Study and research of waste ores with extraction of precious metals 99

Alimov Shokhriddin Mukhammatovich, Akhmedov Ulugbek Azamat ugli, Kairbaev Isa Bakhtiyar uli. The effect of detonator placement on rock crushing during explosive operations is important in open mining 104

Saidahmedov Aktam Abdisamievich. Studying the laws of lead precipitation from a lead chloride solution 109

Karimov Yokub Latipovich, Latipov Zukhriddin Yakub ugli, Islamov Mirjalol Alisher ugli, Amirov Ramz Rashid ugli. Determination and justification of the influence of falling rock pressure in underground workings 114

Usmankulov Orifjon Naziraliyevich, Khasanov Abdirashid Salievich, Yusupov Ural Sadullaevich, Eshonkulova Gulmira Rashidovna. Complexation properties and oxidation stages of platinum chlorides 119

Khojakulov Nurmurad Botirovich, Ruziyev Ulugbek Mamarasulovich, Ibotov Bobur Odil ugli. Investigation of technogenic wastes from the gold extraction plant of the “Auminzo-Amantoy” mine, NMMC JSC 124

GEOLOGY AND OIL-GAS INDUSTRY

Azimov Salohiddin Turamuradovich, Rakhimov Ganisher Bakhtiyorovich. High-temperature hydrogen attack (HTHA) in carbon steels, microstructural degradation, damage mechanism, and technological prevention methods 129

Azimov Salohiddin Turamuradovich, Rakhimov Ganisher Bakhtiyorovich, Buronov Firdavsi Eshburiyevich. Scientific principles and practical significance of preheating (preheat) and post-weld heat treatment (pwht) methods in the welding process 135

Asadova Khulkar Boymanovna, Sultonov Nodir Normurodovich, Kurbanov Aziz Teshavoevich. An integrated approach to assessing oil displacement efficiency by water in fractured-porous carbonate reservoirs 141

Eshmurodov Otabek Radjabovich, Sanetullaev Yernazar Yesbosynovich, Akhmedov Shovdullo Shukhratovich, Ruzmanov Farkhod Ismailovich. Analysis of washing liquid associations in well repairs 147

Dustkobilov Eldor Nurmatovich, Yuldashev Tashmurza Rakhmonovich, Djumbabayev Alijon Bakishyevich. Selection of methods and means of protection from corrosion of equipment and equipment used in collection, transportation and storage of oil and gas products in fields 152

Yuldashev Tashmurza Rakhmanovich, Turdiev Shahboz Shermamat ugli. Study of the dependence of the degree of purification of natural gases from carbon dioxide and sulfur by combined absorbents of alkanolamine solutions on pressure and temperature 159

Khalismatov Irmukhamat, Zakirov Ravshan Tulkinovich, Shomurodov Shokhboz Erol ugli. Methods of exploiting watering gas wells of the Shimoliy Berdakh field 167

Ochilov Iyos Saidovich, Akhmedov Shovdullo Shukhratovich, Arabov Sobid Zakir ugli, Bobokulova Zebo Bahodir kizi. Ore-magmatic systems of the Yakhtan ore field of the Chakylkalyan-Karatepa mountains 173

Ayupova Nodira Abbas kizi. Construction of a digital geological model of the productive horizons of lower to middle jurassic terrigenous deposits of the Divalkak field (Republic of Uzbekistan)..... 178

Khasanov Numonjon Rakhmatovich. Results derived from automated and visual interpretation of satellite imagery (example of the Kumbogut prospective area) 184

Sharafudinova Leyla Pulatovna, Rakhmonova Sevara Toshpulat kizi. Facies and formation interpretation of sandy reservoirs in Atorboy well №1 based on gamma-ray logging using the Muromtsev method 190

CHEMICAL TECHNOLOGY AND CONSTRUCTION

Avezova Nilufar Rabbanakulovna, Usmanov Abdurauf Yuldashboyevich. Multi-criteria optimization of an autonomous hybrid biogas plant: minimizing payback period, energy losses, and CO₂ emissions 194

Murodov Doston, Niyozov Alisher, Akhmedov Vokhid, Beshimov Islom. Study of the changes in rheological and adhesive properties through the modification of liquid glass 205

Sitmuratov Tulkinbek Sabirbayevich, Rakhmatullina Alevtina Petrovna. Review of 5-HMF synthesis: catalysis and technologies ... 211

Abdirashidov Durbek Abdirashid ugli, Turaev Khait Khudoyazarovich, Tojiev Panji Jovlievich, Bozorov Lutfulla Ubaydullaevich. Obtaining refractory materials based on polyvinyl chloride and mineral fillers 223

Plakhtiev Anatoly Mekhailovich, Meliboev Yahyojon Azamjon ugli, Khasanov Otabek Abdumumin ugli. Analysis of the influence of currents in neighboring busbars on control systems in high-voltage non-contact converters and the resulting errors 228

LIGHT INDUSTRIES

Hamzaev Dilshod Inomjonovich. Rapid determination of cotton moisture content 236

ECOLOGY, LABOR PROTECTION AND TECHNICAL SAFETY

Jumabaev Ramazan Polatbekovich. Fundamentals of mathematical modeling of groundwater for water management and protection problems 240

Norkobilova Feruza Abdukhomidovna, Kholiyorova Hilola Komil kizi. The role of information technologies in econometric research: capabilities of the eviews software 246

Egamberdiev Azimjon Abdurasul ugli, Djuraev Sherzod Sobirjonovich. Fuzzy logic control in robot manipulators: a comparative analysis with boolean logic 250

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

UO•K: 669.873:669.053:622.7

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.32

O‘ZBEKISTONDA VISMUT ISHLAB CHIQRISH XOMASHYO BAZASI VA
ULARDAN VISMUTNI AJRATIB OLISH IMKONIYATLARINI TADQIQ
QILISH



**Xasanov Abdirashid
Saliyevich**

“Olmaliq kon-metallurgiya
kombinati” AJ Innovatsion
texnologiyalarni ishlab chiqish va
tadqiq etish markazining
texnologiya bo‘yicha direktor
o‘rinbosari, t.f.d., professor,
Olmaliq, O‘zbekiston

E-mail: a.xasanov@srt-journal.uz
ORCID ID: 0009-0004-9162-7622



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

Qarshi davlat texnika universiteti
dotseni, PhD, Qarshi, O‘zbekiston



**Saipov Xamza
Abdurashidovich**

“O‘zbekgeologiyaqidiruv”
Toshkent markaziy geologiya-
qidiruv ekspeditsiyasi Olmaliq
geologiya-qidiruv ekspeditsiyasi
geologi, Olmaliq, O‘zbekiston



**Xasanov Ulug‘bek
Abdirashidovich**

“Olmaliq kon-metallurgiya
kombinati” AJ, yetakchi muhandis,
t.f.d., Olmaliq, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada tabiiy va texnogen manbalardan vismut (Bi) olish masalalari ilmiy jihatdan tahlil qilingan. Tadqiqotning asosiy obyekti sifatida Toshkent viloyatidagi Ustarasoy koni hamda “Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” AJ da hosil bo‘ladigan qo‘rg‘oshin-vismutli shlamlar o‘rganildi. Ustarasoy koni yuqori devon davrining karbonat-alevrolitli jinslari orasida shakllangan vismut–arsenopiritli gidrotermal tomir-metasomatik shakllanish turiga mansub bo‘lib, u yerda vismutin, kobellit, kozalit, vismutotintinait va boshqa vismutli minerallar aniqlangan. “Olmaliq KMK”da mis eritish jarayonida hosil bo‘lgan qo‘rg‘oshin–vismutli shlamalarda Bi miqdori 0,19–2,0% gacha, konvertor changlarida esa 0,5–1,0% gacha aniqlangan. Shlamlardagi $PbSO_4$ ni eritish uchun NaCl eritmasidan foydalanish bo‘yicha tajribalar natijasida 95°C da va 300 g/l konsentratsiyada qo‘rg‘oshinning eritmaga o‘tish darajasi 85,3% ni tashkil etgani aniqlandi. Natijada vismutning konsentratsiyasi ikki baravar ortgan, qimmatbaho metallarning (Au, Ag) boyitilishi esa samarali kechgan. Tadqiqotlar vismutni ikkilamchi manbalardan qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqish uchun muhim ilmiy asos yaratadi.

Kalit so‘zlar: vismutin, Ustarasoy koni, Olmaliq KMK, qo‘rg‘oshin–vismutli shlam, xlorid eritmasi, qayta ishlash.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПРОИЗВОДСТВА ВИСМУТА В
УЗБЕКИСТАНЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ

**Хасанов Абдирашид
Салиевич**

Заместитель директора по технологиям Центра разработки и внедрения инновационных технологий, АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат», доктор технических наук, профессор, Алмалык, Узбекистан.

**Эшонкулов Учкун
Худайназар угли**

Каршинский государственный технический университет, доцент, PhD, Карши, Узбекистан

**Саипов Хамза
Абдурашидович**

«Узбекская геологическая разведка», Ташкентская центральная геологическая разведывательная экспедиция, Алмалыкская геологическая разведывательная экспедиция, геолог, Алмалык, Узбекистан

**Хасанов Улугбек
Абдирашидович**

АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат», ведущий инженер, доктор технических наук, Алмалык, Узбекистан

Аннотация. В статье рассмотрены научные аспекты извлечения висмута (Bi) из природных и техногенных источников. Объектами исследования являются Устарасайское месторождение в Ташкентской области и свинцово–висмутовый шлам, образующийся при производстве меди на Алмалыкском горно-металлургическом комбинате (АГМК). Устарасайское месторождение относится к висмут–арсенопиритному гидротермальному жильному метасоматическому типу и приурочено к карбонатно–алевролитовым породам верхнего девона. Здесь выявлены минералы висмутин, кобеллит, козалит, висмутотинтинит и др. В шламах АГМК содержание Bi достигает 0,19–2,0%, а в конвертерной пыли — 0,5–1,0%. При растворении PbSO₄ раствором NaCl установлено, что при температуре 95 °C и концентрации 300 г/л степень извлечения свинца составляет 85,3%. При этом содержание висмута в остатках увеличивается в 2 раза, а также наблюдается обогащение благородных металлов (Au, Ag). Результаты показывают перспективность применения хлоридного выщелачивания для переработки техногенных отходов с целью извлечения висмута и сопутствующих ценных элементов. Полученные данные создают основу для разработки эффективных технологий вторичной переработки висмутсодержащего сырья.

Ключевые слова: висмутин, месторождение Устарасай, АГМК, свинцово-висмутовый шлам, хлоридное выщелачивание, извлечение металлов.

**STUDY OF THE RAW MATERIAL BASE FOR BISMUTH PRODUCTION IN
UZBEKISTAN AND THE POSSIBILITIES OF EXTRACTING BISMUTH
FROM THEM**

**Khasanov Abdirashid
Salievich**

Deputy Director for Technology of the Center for Development and Implementation of Innovative Technologies, JSC “Almalyk Mining and Metallurgical Combine”, Doctor of Technical Sciences, Professor, Almalyk, Uzbekistan

**Eshonkulov Uchkun
Khudaynazar ugli**

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

**Saipov Khamza
Abdurashidovich**

Geologist of the Almalyk Geological Exploration Expedition of the Tashkent Central Geological Exploration Expedition “Uzbekgeologorazvedka”, Almalyk, Uzbekistan

**Khasanov Ulugbek
Abdirashidovich**

JSC “Almalyk Mining and Metallurgical Combine”, Leading Engineer, Doctor of Technical Sciences, Almalyk, Uzbekistan

Abstract. This article provides a scientific analysis of the extraction of bismuth (Bi) from both natural and technogenic sources. The study focuses on the Ustarasoy deposit in Tashkent region and the lead–bismuth sludge generated at the Almalyk Mining and Metallurgical Complex (AMMC). The Ustarasoy deposit represents a bismuth–arsenopyrite hydrothermal vein–metasomatic formation type occurring within Upper Devonian carbonate–aleurolite rocks and hosts minerals such as bismuthinite, kobellite, cosalite, bismutotintinite, and others. The lead–bismuth sludge produced during copper smelting at AMMC contains up to 0.19–2.0% Bi, while converter dust samples contain 0.5–1.0% Bi. Experiments using NaCl solutions to dissolve PbSO₄ revealed that at 95 °C and 300 g/l concentration, the dissolution efficiency of lead reached 85.3%. Simultaneously, the bismuth concentration in solid residues doubled, and enrichment of precious metals (Au, Ag) was observed. These results demonstrate that chloride –

leaching technology is a promising method for the recovery of valuable metals from secondary raw materials. The findings form a scientific basis for developing efficient recycling technologies for bismuth and associated metals from industrial wastes.

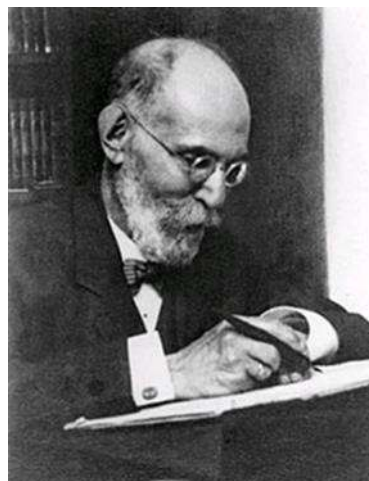
Keywords: bismuthinite, Ustarasoy deposit, Almalyk MMC, lead–bismuth sludge, chloride leaching, metal recovery.

Kirish. Vismut garchi XVIII asrdan beri ma'lum bo'lsada, u haqida olimlar juda kam tajribalar olib borgan. Uning kimyoviy individualligi 1739 yilda nemis kimyogari I.G. Pott (1692-1777 y.) tomonidan kashf etilgan. Biroq, u haqida olimlarning qiziqishi oradan 200 yil o'tgach boshlandi. Qadimdan vismut metall sifatida ma'lum bo'lgan, ammo uni qo'rg'oshin, surma yoki qalayning birikmasi deb xisoblashgan.



1-rasm. Georgiy Agrikola (1494-1555).

Hatto 1494-1555 yillarda yashab ijod qilgan, birinchi bora "Konchilik ishi va metallurgiya" haqida 12 tomli kitobni yozib, nashr ettirgan Georgiy Agrikola (Bauer) ham 1546 yili o'z asarida vismut xossalari haqida yozib o'tgan. Olimlarning, ayniqsa XV asr alkimyogarlarning ta'rifi bo'yicha Yevropada bu metall haqida yozilgan va ancha baxslarga olib kelgan. Shulardan biri V.Valentindir (1394-1450), aynan shu kimyogar XV asr boshida xlorid kislotasini osh tuziga temir kuporosini ta'sir ettirib oladi va ulkan kashfiyotni amalga oshiradi.



2-rasm. E.O.Pippman (1857-1940).

Alkimyogar, shifokor va filosof G.Paratsels (taxminan 1493 yili, o'lgan yili aniq, 24.09.1541y., Avstriya) tibbiyotga kimyoni olib kirdi. Simob, oltingugurt, temir, mis kuporosi bilan insonlarni davolashni taklif etdi va sinovdan o'tkazdi.

E.O.Pippman (1857-1940) o'zining taniqli "Geschichte des wismuts zwischon 1460 und 1800" asarida 1930 yili XV-XVII asrlarda olim kimyogarlardan tomonidan qayd etilgan 21ta metall haqida yozib o'tadi. Kitobning nomidan ham ma'lumki vismut haqida XV asrdayoq fikr yuritilgan. 1820 yillarda shved kimyogari Y.Y.Berselius (1779-1848) vismutga Bi kimyoviy element belgisi berdi va D.M.Mendeleyev jadvaliga 83 tartib raqami bilan kiritdi. Martin Ruland (1569-1611), 1612 yilda yozgan "Alkimyogarlarning lug'ati" nomli asarida vismutni "Har tomonlama yengillatuvchi, yaltiroqlovchi va arzon qo'rg'oshin" va "oq vismut" haqida yozib o'tadi. XVIII asrdan boshlab vismut boshqa metallar bilan past haroratda eriydigan qotishmalar olishda, tibbiyotda, ayollar kosmetikasida ishlatila boshladi. Va nihoyat XVIII asrga kelib I.G.Pott va kimyo va minerologiya sohasining yetuk professori Torbern Bergman (1735-1784) vismutni alohida metall sifatida qabul qilishni taklif etdi va u xech qanday qo'rg'oshin, surma yoki qalay birikmasiga aloqasi yo'qligini

isbotlab berdi. Nima uchun ushbu yaltiroq kimyoviy element shunday atalishi haqida aniq ma'lumotlar yo'q. Biroq, E.O.Pippman bu konchilar so'zidan olinganligini, ya'ni "Wis va mat" (Weisse masse va weisse material) so'zidan kelib chiqqanligini, bu oq jins, oppoq material ma'nolaridan olingan, degan xulosaga kelgan.



3-rasm. Yons Yakob Berselius (1798-1868).

Shuningdek M.V. Lomonosov ham o'zining taniqli "Metallurgiyaning birinchi asoslari" kitobida vismut haqida, uning xossalarini yoritib bergan. Va nihoyat XIX asr boshlarida chor Rossiyasining kitoblarida uni "Vizmut" gohan "Bismut" deb yozishgan.

Vismutin – kimyoviy tarkibi jihatidan vismut (Bi) va oltingugurt (S) birikmasidan tashkil topgan vismut sulfididir. Ushbu mineral o'z nomini tarkibida vismut elementining ustun miqdorda mavjudligidan olgan. Ko'plab adabiyotlarda u bismutinit (Bi_2S_3) yoki vismut yaltirog'i nomlari bilan ham uchraydi.

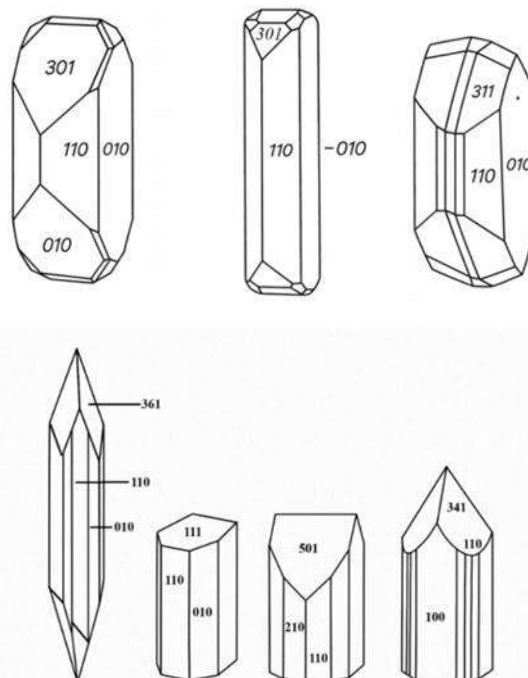
Kimyoviy tarkibi asosan Bi – 81,3% va S – 18,7% nisbatida bo'lib, tarkibida qo'shimcha ravishda qo'rg'oshin (Pb), surma (Sb) hamda temir (Fe) kabi aralashmalar ham uchrashi mumkin.

Kristall tuzilishi bo'yicha vismutin rombik singoniya (rombik sistemasiga mansub) mineral bo'lib, uning simmetriya tipi rombopiramidal ($D_{2h} = mmm, 3L_23PC$) shaklida ifodalanadi. Mineralning elementar hujayrasi (strukturaviy katakchasi) Bi_2S_3 formulali birikmadan iborat bo'lib, fazoviy guruhi $D_{2h}^{11} - Pbnm$ tarzida aniqlangan. Kristall panjaraning parametrlariga ko'ra: $a_0=11,15 \text{ \AA}$; $b_0=11,29 \text{ \AA}$; $c_0=3,98 \text{ \AA}$, ularning o'zaro nisbati $a_0:b_0:c_0=0,9874:1:0,3523$ ni tashkil etadi.

Bunday tuzilish vismutinning antimonit (Sb_2S_3) minerali bilan o'xshash kristallografik xususiyatlarga egaligini ko'rsatadi, bu esa ularning umumiy sulfidli tabiatidan dalolat beradi.

Tahlil. Vismutinga odatda donador, zich birikkan agregatlar, shuningdek nurlanishsimon yoki cho'zinchoq prizmal kristallar xosdir (4-rasm). Bunday kristallar yuzalarida, odatda, $\{110\}$, $\{301\}$, $\{101\}$ prizmalarning hamda $\{010\}$ pinakoidning tekisliklari aniqlanadi. Kristall yoqlari ko'pincha nozik vertikal chiziqlar (yoki tirnalgan sirt) bilan qoplangan bo'ladi. Bu xususiyatlar mineralning shakl hosil bo'lish sharoiti va kristallik strukturasi o'ziga xosligini ko'rsatadi.

Vismutin tashqi ko'rinish jihatidan qo'rg'oshin-kulrangdan tortib qalay-oq ranggacha bo'lgan turlarda uchraydi. Ba'zida uning sirtida sariq yoki ko'p rangli oksidlanish pardasi kuzatiladi. Chizig'i qo'rg'oshin-kulrang, jilosi esa kuchli metallik bo'lib, mineral shaffof emas. Kristallning $\{010\}$ yo'nalishida mukammal yorilish xususiyati mavjud. Qattiqligi 2–2,5 oralig'ida bo'lib, pichoq bilan osongina kesiladi.



4-rasm. Antimonit kristallarining gabitusing tashqi ko'rinishi.

Modda egiluvchan, zichligi 6,4 dan 6,8 g/sm³ gacha, va elektr tokini o'tkazmaydi. Mikroskop

ostida tekshirilganda silliqqlangan kesimlarda kuchsiz pleoxroizm hamda aniq anizotropiya kuzatiladi. Yorug'likni qaytarish qobiliyati yuqori — taxminan 40% ni tashkil etadi.

Vismutinni boshqa o'xshash sulfidli minerallardan ajratishda bir nechta diagnostik xususiyatlar muhim rol o'ynaydi. Eng avvalo, uning sirtida sariq yoki rang-barang oksidlanish pardasi hosil bo'lishi, shuningdek, (010) yo'nalishdagi mukammal yorilishi, past qattiqligi va baland zichligi bilan ajralib turadi. Rentgenografik tadqiqotlarda mineral uchun xarakterli asosiy difraksion chiziqlar 3,50 Å, 3,08 Å va 2,79 Å da qayd etiladi.

Kimyoviy jihatdan vismutin nitrat kislota (HNO₃) ta'sirida oson eriydi, suyultirilgan suvli eritmalarda esa oq cho'kma (Bi(OH)₃) hosil qiladi. Ko'mir ustida qizdirilganda esa vismutin oson eriydi, qaynaydi va sachraydi, natijada vismut donachasi (korolek) hosil bo'ladi. Qaytaruvchi alangada esa ko'mir yuzasida limon-sariq vismut oksidi qatlami paydo bo'ladi — bu vismutinning eng muhim identifikatsion belgilaridan biridir.

Vismutin tashqi ko'rinishi va ayrim fizik belgilariga ko'ra antimonit, shuningdek sulfoantimonidlar hamda sulfovismutidlar guruhiga mansub minerallarga o'xshashlik ko'rsatadi. Biroq ularni bir-biridan fizik va kimyoviy belgilar asosida farqlash mumkin. Masalan, antimonit vismutinga nisbatan kuchsizroq metallik yaltiroqlikka, pastroq zichlikka ega bo'lib, kaliy gidroksid (KOH) bilan reaksiyaga kirishganda uning sirtida sariq rangli oksid qoplama hosil qiladi. Vismutin esa bu xususiyatni ko'rsatmaydi va shu sababli uni sulfoantimonidlar hamda sulfovismutidlardan faqat kimyoviy tahlil yo'li bilan ishonchli ajratish mumkin.

Dunyo miqyosida vismutin konlarining eng yiriklari Boliviya hududida joylashgan bo'lib, ular sulfid-kassiterit formatsiyasiga mansub hisoblanadi. Shuningdek, muhim sanoat konlari Venesuelaning Shimoliy Dnepr–Pass mintaqasida (xususan, Varxos va Serro-de-Pasko tumanlarida) mavjud. Bundan tashqari, vismutin Ural tog'lari, Rossiyaning Sharqiy Sibir qismi va boshqa ayrim mintaqalarda ham aniqlangan.

Tabiatda oksidlanish jarayonlari kechadigan zonalarda vismutin kimyoviy jihatdan beqaror holatga o'tadi va natijada u vismut gidroksidi

(Bi(OH)₃) shaklida ikkilamchi hosilalarni vujudga keltiradi. Bunday o'zgarishlar, asosan, gidrotermal konlarning yuqori qismlarida yoki sirtga yaqin qatlamlarda kuzatiladi. Bu jarayon vismutinning oksidlanish muhitida parchalanishga moyilligini ko'rsatadi va natijada vismutning suvli birikmalari yoki oksid turlari hosil bo'ladi.

Vismutin tabiiy rudalar orasida vismut (Bi) olish uchun eng asosiy mineral manba hisoblanadi. Sanoat miqyosida foydali bo'lgan rudalar odatda kamida 0,5% vismut miqdorini o'z ichiga olishi lozim. Vismutin tarkibidagi vismut metallurgiya, kimyo, elektronika va farmatsevtika sohalarida keng qo'llanadigan vismut birikmalarini olishda xomashyo sifatida ishlatiladi. Shu bois ushbu mineral strategik ahamiyatga ega vismut resurslari tarkibiga kiradi.

Laboratoriya sharoitida vismutinni qizdirilgan vismut oksidi (Bi₂O₃) orqali vodorod sulfid (H₂S) gazini xlorid kislota (HCl) muhitida o'tkazish natijasida olish mumkin. Shuningdek, uni vismut va oltingugurtning qotishmasini eritish orqali ham sun'iy yo'l bilan sintez qilish mumkin. Ushbu jarayon natijasida tabiiy mineralning tarkibiga yaqin bo'lgan vismut sulfid (Bi₂S₃) birikmasi hosil bo'ladi.

Vismutin gidrotermal jarayonlar natijasida shakllanadigan sulfidli rudalar tarkibida uchraydi. U ko'pincha kassiterit (SnO₂), molibdenit (MoS₂), sulfidli vismut minerallari, shuningdek kvars-volframit va sulfid-kassiterit formatsiyalar bilan assotsiatsiyalangan holda topiladi. Bunday konlar kvars-volframitli, sulfidli va kassiteritli geokimyoviy muhit uchun xosdir.



5-rasm.

Muhokama. O'zbekiston hududida vismutin minerallashuvi uchun eng tipik ob'ektlardan biri — Toshkent viloyatidagi “Ustasoy” koni hisoblanadi. Ushbu konning geologik tuzilmasi va

mineralogik tarkibi vismut-arsenopirit tipidagi gidrotermal tomir-metasomatik shakllanishga mansub bo‘lib, unda vismutin, kobellit, kozalit, vismutotintinaït va boshqa vismut birikmalari aniqlangan. Konning asosiy rudali zonalarini kvarsli tomirlar bilan bog‘liq bo‘lib, bu yerda Bi, Pb, Cu, W, Ag, Se, Te kabi elementlarning assotsiatsiyasi kuzatiladi. Ustarasoy konidagi vismut minerallarining mavjudligi vismutning tabiiy paydo bo‘lish sharoitlarini o‘rganishda muhim amaliy ahamiyatga ega bo‘lib, bu yerda olingan ma‘lumotlar O‘zbekiston vismutli konlarining metallogenik xususiyatlarini tavsiflashda asosiy manba sifatida xizmat qiladi



6-rasm. Ustarasoy koni Toshkent viloyatining Bo‘stonliq tumani, dengiz sathidan balandligi 1162 metr. Joylashgan joyi : 41037'15" N 70 007'00"E.

Ustarasoy koni Toshkent viloyatining Bo‘stonliq tumanida, Burchimulla va Yakkatut aholi punktlaridan taxminan 2 km sharqda, Koxu daryosining chap sohilida joylashgan. Mazkur kon O‘zbekiston hududida sof vismutning birinchi bor aniqlangan joyi sifatida alohida ilmiy ahamiyatga ega. 1931 yilda geolog I.M. Yevfimenko tomonidan aynan shu kon hududida sof vismut minerali topilgan.



7-rasm. Ustarasoy koni G‘arbiy Tyanshan tizmasi.

Geologik jihatdan Ustarasoy koni G‘arbiy Tyanshan tizmasi doirasida joylashgan bo‘lib, uning asosiy tog‘ jinslarini yuqori devon davrining famen bosqichiga oid ohaktoshlar tashkil etadi. Ushbu qatlamlar orasida uchta asosiy gorizont ajratiladi: krinoidli, braxiopodli va Ostansoy gorizontlari.

Konning geologik tuzilishi va rudali tanalari bir qator mutaxassislar E.P. Vorobyov, G.M. Vdrovlyanskiy, L.Z. Miroshnikov va boshqa olimlar tomonidan chuqur o‘rganilgan. Ularning tadqiqotlari natijasida Ustarasoy konining shakllanish jarayoni vismut-arsenopirit (ya‘ni vismut–mishyakli) gidrotermal tomir–metasomatik tipiga mansubligi aniqlangan.

Ustarasoy koni mineral tarkibiga ko‘ra nihoyatda xilma-xildir; 50 dan ortiq birlamchi va ikkilamchi minerallar aniqlangan, ularning har biri aniq turlicha miqdoriy ahamiyatga ega. Birlamchi Bi minerallar guruhi ayniqsa o‘ziga xosdir. Ushbu guruhni o‘rganish natijasida konda nisbatan keng tarqalgan vismutinit va vismutdan tashqari, juda kam uchraydigan vismut sulfotuzlari ham mavjudligi aniqlandi.



8-rasm. Vismutit va tremolit.

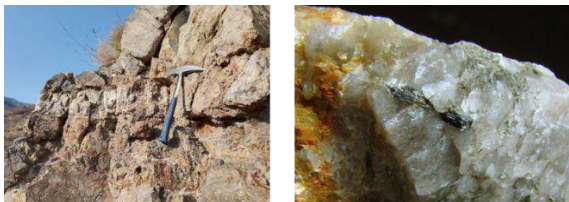
Kondagi boshqa foydali qazilmalardan “vismut oxrasi” deb ataladigan ikkilamchi Bi minerallari ham e‘tiborga loyiqdir. Ular, shuningdek, murakkab va kam o‘rganilgan guruhni ifodalaydi. Konda o‘zlashtirilgan pititsit-skorodit rudalari ham diqqatga sazovordir, ular 1937 yilda B.B. Tatarskiy tomonidan batafsil o‘rganilgan.



9-rasm. Yaxlit pirit va pirrotin ma‘dani.

Ustarasoyning birlamchi minerallari orasida kon hosil bo‘lish bosqichlariga mos keladigan turli

yoshdagi to'rtta mineral assotsiatsiyani ajratib ko'rsatish mumkin: tremolit-kvarsli, kvars-vismutinli, arsenopiritli (asosiy sulfid kompleksi) va xlorit-karbonatli. Ustarasoyda bir xil turdagi minerallarning bir necha generatsiya mavjudligini qayd etish lozim.



10-ram. Ustarasoy konini 1215 gorizontida kvarsni muvofiq tomirlari vismutni prizmatik kristalli.

Mazkur konning mineralogik xususiyatlari shuni ko'rsatadiki, vismutin, kobellit, kozalit, vismutotintinaït va boshqa vismutli minerallar asosan kvars tomirlarida to'plangan. Bunday tomirlar tarkibida volfram (W), qo'rg'oshin (Pb), mis (Cu), kumush (Ag), selen (Se), tellur (Te), mishyak (As) va temir (Fe) elementlari bilan birgalikda assotsiatsiyalangan holda uchraydi. Bu holat Ustarasoy konini vismutli sulfid rudalarining tipik namunasiga aylantiradi hamda O'zbekistonning vismut metallogeniyasi uchun muhim manba sifatida baholanadi.



11-rasm. Vismutinni ignasimon kristallari bornit Cu₅FeS₄ (qora rangda) bilan.

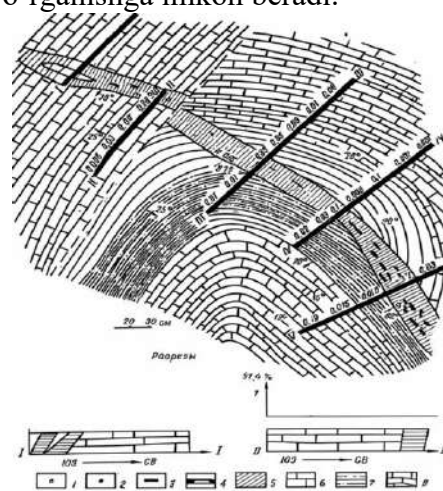
Ustarasoy konining geologik-sanoat tipi va rudali zonalarining morfologiyasi. Ustarasoy koni geologik tasnif bo'yicha vismut-arsenopiritli (vismut-mishyakli) gidrotermal tomir-metasomatik shakllanish turiga mansub hisoblanadi. Bu turdagi konlarda ruda tanalari asosan tektonik yoriqlar bilan bog'liq bo'lgan kvarsli tomirlar shaklida uchraydi. Tomirlarning konturlari aniq, ularning hosil bo'lishi D₃fr-fm yoshli karbonat-alevrolitli tog' jinslari gorizontlari bilan chambarchas bog'langan.

Tomirlar bilan chegaradosh hududlarda metasomatizm jarayonlari yaqqol namoyon bo'ladi.

Ayniqsa, karbonatli va karbonat-alevrolitli jinslar orasida silisifikatsiya, dolomitlanish va qisman seritsitlanish belgilarini kuzatish mumkin. Ba'zi hollarda tomirlar D₃fm bosqichiga oid ohaktoshlar ichiga kirib boradi, bu esa ularning shakllanishi davomida geokimyoviy sharoitlarning o'zgaruvchan bo'lganligini ko'rsatadi.

Muvafiq tomirlar qatlamlanish yo'nalishiga mos ravishda joylashgan bo'lib, ular asosan D₃fr yoshli ohaktoshlar bilan chegaralanadi hamda D₃fr-fm davriga oid karbonat-terrigenn gorizontlar ichida rivojlangan. Ohaktoshlar ichida tomirlar yaqinidagi metasomatitlarning qalinligi odatda 5–20 sm, karbonat-alevrolitli jinslarda esa 0,2–1,5 m gacha yetadi. Bunday metasomatik o'zgarishlar tomirlarning rivojlanish bosqichida issiqlik va gidrotermal eritmalar ta'sirida sodir bo'lganini bildiradi.

Kesib o'tuvchi tomirlar esa odatda yirik tektonik yoriqlar bilan bog'liq bo'lib, ularning kesishuv joylarida muhim rudalanish to'planmalari hosil bo'lgan. Bu hududlarda vismutli minerallar ko'proq miqdorda to'plangan bo'lib, kesishuvchi va muvofiq tomirlarning tuzilma tipi yuqorida qayd etilgan analoglarga mos keladi. Ushbu morfologik va litologik xususiyatlar Ustarasoy konining geologik shakllanish tarixini, shuningdek, gidrotermal jarayonlarning fazoviy-dinamik kechishini chuqur o'rganishga imkon beradi.



12-rasm. Ustarasoy konining mineralogik xaritasi va vismutning tarqalish xususiyatlari:

1 – pirit, 2 – sheelit, 3 – vismutinit, 4 – borozdali namunalalar va ularning Bi miqdori (raqamlar bilan ifodalangan), 5 – kvars tomirlari, 6 – aleurolitli va dolomitli ohaktoshlar zonasi, 7 – pelitolitsimon jinslar, 8 – dolomitli ohaktoshlar bo'ylab rivojlangan metasomatitlar.

Ustarasoy konining kvarsli tomirlarida asosan vismutin (Bi_2S_3) va kobellit minerallari ustunlik qiladi. Ular bilan bir qatorda kamroq miqdorda kozalit, vismutotintinait hamda saharovait minerallari ham aniqlangan. Ushbu asosiy birikmalarga qo'shimcha tarzda ikkilamchi darajadagi vismutli birikmalar — jozeit, galenobismutit va boshqa sulfo- yoki oksidli minerallar kiradi. Bunday tarkib konning vismutga boy rudali zonalarini xarakterlaydi.

Kvars tomirlarining paragenetik elementlari orasida volfram (W), qo'rg'oshin (Pb), mis (Cu), kumush (Ag), selen (Se), tellur (Te), oltinugurt (S), mishyak (As), temir (Fe), oltin (Au) hamda platina guruhi metallari aniqlangan. Bu elementlar o'zaro genetik bog'liq bo'lib, gidrotermal sharoitda vismut bilan birgalikda cho'kkanligi kuzatiladi.

Elementlar o'rtasidagi nisbiy miqdoriy munosabat o'rta hisobda $\text{Bi} : \text{Pb} : \text{Cu} : \text{W} = 1 : 0,4 : 0,4 : 0,01$ ni tashkil etadi. Qo'rg'oshinning miqdori turli namunalarda bir necha mingdan 6,3% gacha o'zgaradi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, namunalarning uchdan bir qismida Pb tarkibi 1% dan yuqori bo'lib, bu vismutning yuqori konsentratsiyasi bilan bevosita bog'liq.

Bunday paragenetik komplekslar Ustarasoy konining vismut-arsenopiritli gidrotermal shakllanish tipiga xos bo'lib, rudalarning metallogenik rivojlanish bosqichlarini aniqlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

12-rasmda Ustarasoy konidagi kvars–vismutli tomirlarning mineralogik xaritasi hamda vismut elementining tomir va unga tutash metasomatik zonalarda taqsimlanish xarakteri aks ettirilgan.

Ustarasoy konining ma'danlarni qamrab oluvchi tog' jinslari va ularning yoshi. Ustarasoy konining ma'danli maydoni Koksuv antiklinal tuzilmasi doirasida joylashgan bo'lib, u Chavota gumbazini o'z ichiga oladi. Antiklinal strukturaning yadrosi C_{1-2} davriga oid diorit–monzonit–granodiorit intruziyalari bilan to'lgan bo'lib, ba'zi joylarda diabazli porfir daykalari ham uchraydi. Ushbu intruziv kompleks konning geologik rivojlanishida asosiy magmatik omil sifatida qaraladi.

Maydonning pastki qatlamlari Pz_1 davriga oid slanets va qumtoshlardan iborat bo'lib, ularning ustki qismi yuqori devon (D_3) davriga mansub yotqiziqlar bilan almashinadi. Bu qatlamlar

tarkibida konglomeratlar, qumtoshlar, aleurolitli qumtoshlar hamda karbonatli qumtoshlar gorizontalari ajratilgan. Shu jumladan, o'tish bosqichi sifatida $\text{D}_3\text{fr-fm}$ gorizontali aniqlangan.

Bundan tashqari, kon kesimida D_3fm yoshli ohaktoshlar, gil tasmalari bilan boyitilgan ohaktosh qatlamlari ($\text{C}_{1\text{t}\text{ost}}$), qumtosh–karbonatli yotqiziqlar ($\text{C}_{1\text{t}\text{br}}$) hamda dolomitlar ($\text{C}_{1\text{t}\text{rv}}$) qatlamlari kuzatiladi. Bu qatlamlarning navbatma-navbat joylashuvi kon hududida litologik va fasiyal murakkablikning yuqori darajasini ko'rsatadi.

Tog' jinslarining bunday stratigrafik ketma-ketligi kon hududining metasomatik o'zgarishlarga moyilligini, shuningdek, gidrotermal rudalanish jarayonlarining tarqalish chuqurligini belgilovchi asosiy geologik omil sifatida ahamiyat kasb etadi.

Ustarasoy konining strukturaviy-geologik xususiyatlari. Ustarasoy konining asosiy strukturaviy elementlari uchta yirik uzilma (tektonik buzilish zonasi)dan iborat bo'lib, ular shimoli-g'arb yo'nalishda cho'zilgan va tik yo'nalishda joylashgan normal yoriqlar tizimini tashkil etadi. Ushbu yoriqlar kon maydonini turlicha darajada mineralizatsiyalangan uchta asosiy uchastkaga — shimoliy, markaziy va janubiy zonalarga ajratadi.

Shimoliy Ustarasoy yorig'i konning shimoliy chegarasini belgilab beradi. O'rta Ustarasoy yorig'i esa shimoliy va markaziy qismlarni ajratib turuvchi asosiy boshqaruvchi struktura sifatida katta geologik ahamiyatga ega. Aynan shu zonaga tutash hududlarda eng intensiv rudalanish jarayonlari kechgan bo'lib, konning deyarli barcha mineral komplekslari shu qismda shakllangan.

Janubiy Ustarasoy tashlamasi esa konning markaziy qismini janubiy tomondan chegaralaydi va butun ma'danli maydonni ajratib turadi. Bu zona ikki xil mineralogik tipdagi rudalarni o'z ichiga oladi:

1. Ustarasoy tipidagi — kvarsli tomirlar tarkibida sheelit (CaWO_4) va qo'rg'oshin–vismutli sulfotuzlar bo'lgan vismutinit–arsenopirit–pirrotit–kvars assotsiatsiyasi;

2. Burchimulla va Kulma tipidagi — vismutinit–arsenopirit rudalari.

Bu ikki shakllanish turi gidrotermal sulfidli sistemalar evolyutsiyasining turli bosqichlarini ifodalaydi va Ustarasoy konining metallogenik rivojlanish tarixini aniqlashda muhim ilmiy ahamiyatga ega. Mazkur konlar Perudagi San-

Gregorio koni (rudadagi vismut miqdori 3% gacha) bilan oʻxshash geologik-genetik xususiyatlarga ega boʻlib, Oʻzbekistonning Burchimulla–Ustarasoy kon tizimi ham shu turdagi shakllanishlarga mansubdir.



13-rasm. Perudagi San-Gregorio koni.

Tabiiy vismut manbalari bilan bir qatorda, sanoat ishlab chiqarish jarayonida ham vismut tarkibli chiqindilar hosil boʻladi. Oʻzbekiston sharoitida bunday ikkilamchi vismut manbalarining eng muhimlaridan biri “Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” AJ hisoblanadi. Kombinatda mis ishlab chiqarish jarayonida hosil boʻladigan qoʻrgʻoshin–vismutli shlamlar va konvertor changlari vismut olish uchun istiqbolli texnogen xomashyo manbasi boʻlib xizmat qiladi (1-jadval).

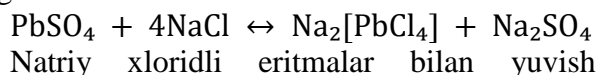
1-jadval.

Qoʻrgʻoshin–vismutli shlam va konvertor changlarining oʻrtacha kimyoviy tarkibi

T/r	Mineral	Pb, %	Cu, %	Zn, %	Au, %	Ag, %	S _{sum} , %	Bi, %
1	Qoʻrgʻoshin vismutli shlam	35-42	3-7	0.2-0.5	8-20	250-360	10-13	0.19-2
2	Konvertor changi	45-51	1-1.9	7-9	2-3	180-202	0.1-0.3	0.5-1

Qoʻrgʻoshin–vismutli shlam (QVSh) tarkibida qoʻrgʻoshin, mis, oltin, kumush, vismut va boshqa qimmatbaho elementlarning yuqori miqdorda mavjudligi ularni qayta ishlashni iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq qiladi. Ushbu komponentlarning konsentratsiyasi baʼzan tabiiy rudalardagi tarkibdan ham yuqori boʻlgani sababli, ularni metallurgik jarayonga jalb etish dolzarb masala hisoblanadi.

QVSh tarkibidagi qoʻrgʻoshin sulfatini erituvchi reaktiv sifatida natriy xlorid eritmalaridan foydalanish imkoniyati oʻrganilgan. Tadqiqotlar PbSO₄ – NaCl – H₂O tizimida olib borilgan boʻlib, quyidagi kimyoviy oʻzgarish asosida jarayon amalga oshadi:



jarayonida hosil boʻlgan filtrlash qoldiqlari tarkibida mis (Cu = 0,39%), rux (Zn = 0,45%), vismut (Bi = 0,46%), oltin (Au = 12,4 g/t) va kumush (Ag = 330 g/t) kabi komponentlar aniqlangan. Bunday sharoitda kimyoviy reaksiyalar kompleks ravishda kechadi, bu esa reaktiv sarfini oshiruvchi omil boʻlishi mumkin.

Qoʻrgʻoshinni eritmaga oʻtkazishning maksimal darajasi 95 °C haroratda va 300 g/l konsentratsiyadagi natriy xlorid eritmasi ishlatilganda kuzatilgan. Eritmaning konsentratsiyasini 150 g/l gacha kamaytirib, jarayonning ikkinchi bosqichi oʻtkazilganda qoʻrgʻoshin ajralish darajasi 85,3% ni tashkil etgan. Bu bosqichda qoʻrgʻoshin asosan xlorid komplekslari shaklida eritmaga oʻtadi.

Kimyoviy tahlillar shuni koʻrsatadiki, xloridli eritma bilan qayta ishlash jarayonida harorat va eritma konsentratsiyasi oshgani sari qattiq qoldiqlarda qoʻrgʻoshin miqdori kamayadi, biroq vismut konsentratsiyasi ikki baravar ortadi. Shu bilan birga, qoldiqlarda oltin va kumush miqdorining oshishi kuzatilgan, bu esa qimmatbaho metallarning boyitilishi uchun qoʻshimcha imkoniyat yaratadi.

Natijalar shuni koʻrsatadiki, xloridli eritmalar yordamida QVSh ni qayta ishlash texnologik jihatdan istiqbolli yoʻnalish boʻlib, u qoʻrgʻoshin va vismutni ajratib olish bilan birga qimmatbaho metallarning konsentratsiyasini oshirish imkonini beradi.

Xulosa. Olib borilgan ilmiy tadqiqotlar natijasida Oʻzbekiston hududida vismut elementining tabiiy va texnogen manbalari hamda ularni qayta ishlash imkoniyatlari chuqur tahlil qilindi. Tadqiqot shuni koʻrsatdiki, Toshkent viloyatidagi Ustarasoy koni mamlakatdagi eng muhim tabiiy vismut manbalaridan biri boʻlib, u vismut–arsenopiritli gidrotermal tomir–metasomatik shakllanish turiga mansubdir. Bu konning mineralogik tarkibida vismutin, kobellit, kozalit, vismutotintinait kabi vismutli minerallar aniqlanib, ularning Bi, Pb, Cu, W, Ag, Se va Te elementlari bilan genetik bogʻliqligi isbotlandi. Shuningdek, “Olmaliq KMK” AJ metallurgiya sexida hosil boʻladigan qoʻrgʻoshin–vismutli shlamlar va konvertor changlari tarkibida Bi, Pb, Cu, Au va Ag kabi qimmatbaho elementlarning sezilarli miqdorda mavjudligi aniqlandi. NaCl eritmasida xloridli eritish tajribalari natijasida 95°C haroratda va

300 g/l konsentratsiyada qo'rg'oshinning eritmaga o'tish darajasi 85,3%, vismut konsentratsiyasi esa ikki baravar oshgani qayd etildi.

Ushbu natijalar vismutni tabiiy rudalar bilan bir qatorda texnogen chiqindilardan ham samarali ajratib olish imkonini beradi. Natriy xloridli eritma-

lar asosida ishlab chiqilgan texnologik yondashuv vismut, qo'rg'oshin va qimmatbaho metallarni kompleks qayta ishlash uchun istiqbolli yo'nalish bo'lib, u O'zbekiston metallurgiya sanoatida resurslardan oqilona foydalanishning ilmiy asosini yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Xasanov, A. S. (2025). O'zbekiston sharoitida vismut ishlab chiqarish xomashyo bazasi va ulardan vismutni ajratib olish imkoniyatlarini tadqiq qilish. *Gornyy vestnik Uzbekistana*, (1), 45–52.
- [2] Смирнов, В. И. (1950). *Металлургия меди и никеля*. Москва: Metallurgizdat.
- [3] Ruddle, R. W. (1959). *The physical chemistry of copper smelting*. London: Institution of Mining and Metallurgy.
- [4] Vorobyov, E. P., & Vdovlyanskiy, G. M. (1968). Гидротермальные месторождения висмута Западного Тянь-Шаня. *Геология рудных месторождений*, (4), 32–43.
- [5] Shcherba, G. N., & Kochkin, Yu. N. (1978). *Висмутовые месторождения СССР*. Москва: Недра.
- [6] Biswas, A. K., & Davenport, W. G. (2011). *Extractive metallurgy of copper* (5th ed.). Oxford: Elsevier Science.
- [7] Habashi, F. (1997). *Handbook of extractive metallurgy* (Vol. 2, pp. 987–1024). Weinheim: Wiley-VCH.
- [8] Wang, S., & Westrom, B. (2004). Recovery of bismuth from copper smelter dusts: Chloride leaching and cementation. *Hydrometallurgy*, 73(3–4), 241–248.
- [9] Кудрин, В. А., & Шумаков, Н. С. (2012). Переработка свинцово-висмутовых шламов медеплавильного производства. *Цветные металлы*, (7), 54–59.
- [10] Ozbayoglu, G., & Atalay, M. U. (2003). Beneficiation of bismuth from lead–zinc ores and by-products. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 24(2), 145–167.

UO‘K: 662.7

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.18

UCHTUT KONIDAN OLINGAN SAPONIT MINERALINING MINERALOGIK TARKIBI VA UNDA MAGNIY BIRIKMALARINI AJRATIB OLIISH IMKONIYATLARI



**Umurov Farxod
Ergashovich**

Texnika fanlari doktori, professor
Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti,
Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: Umurov3@yandex.ru



Aripov Avaz Rozikovich

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa
doktori (PhD), Navoiy davlat
konchilik va texnologiyalar
universiteti, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: avaz.aripov.82@bk.ru
ORCID ID: 0000-0002-0428-507X



**Pirnazarov Feruz
G‘ulomovich**

Katta o‘qituvchi, Navoiy davlat
konchilik va texnologiyalar
universiteti, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: fg.pirnazarov@mail.ru



**Sayfullayev Farruxjon
Ibodovich**

Assistant, Navoiy davlat konchilik
va texnologiyalar universiteti,
Navoiy, O‘zbekiston
E-mail:
farruxsayfullayev96@mail.ru
ORCID ID: 0009-0005-0641-1956

Annotatsiya. Ushbu maqolada O‘zbekistonning Navoiy viloyati, Navbahor tumanidagi Uchtut konidan olinadigan saponit namunalarning mineralogik tarkibi chuqur o‘rganildi. Tadqiqotlar kimyoviy tahlil, rentgen fazaviy tahlil, infraqizil (IQ) spektroskopiya, differensial termik tahlil hamda gamma-spektrometrik usullar yordamida olib borildi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, ushbu konning asosiy foydali qazilmasi ko‘p tarmoqli foydalanish imkoniyatiga ega bo‘lgan, magniy va kalsiy miqdori yuqori saponit mineralidir. Bu esa mazkur xom ashyoni kimyo, qurilish, qishloq xo‘jaligi va boshqa sohalarda samarali qo‘llash imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: saponit, kalsit, montmorillonit, kvarts, magniy, mufel pechi, magnitli aralashtirgich.

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ САПОНИТА ИЗ УЧТУТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИЗ НЕГО МАГНИЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**Умиров Фарход
Эргашович**

Доктор технических наук,
профессор Навоийский
государственный горный и
технологический университет,
Навои, Узбекистан

Арипов Аваз Розикович

Доктор философии (PhD) по
техническим наукам, Навоийский
государственный горный и
технологический университет,
Навои, Узбекистан

**Пирназаров Феруз
Гуломович**

Старший преподаватель,
Навоийский государственный
горный и технологический
университет, Навои, Узбекистан

**Сайфуллаев
Фаррухжон Ибодович**

Ассистент, Навоийский
государственный горный и
технологический университет,
Навои, Узбекистан

Аннотация. В данной статье детально изучен минералогический состав образцов сапонита месторождения Уchtut Навбахорского района Навоийской области Узбекистана. Исследования проводились с применением химического анализа, рентгенофазового анализа, инфракрасной (ИК) спектроскопии, дифференциально-термического анализа и гамма-спектрометрических методов. Полученные результаты показали, что основным полезным ископаемым данного месторождения является минерал сапонит с высоким содержанием магния и кальция, обладающий потенциалом многоотраслевого использования. Это открывает возможности для эффективного применения данного сырья в химической, строительной, сельскохозяйственной и

других отраслях промышленности.

Ключевые слова: сапонит, кальцит, монтмориллонит, кварц, магний, муфельная печь, магнитная мешалка.

MINERALOGICAL COMPOSITION OF SAPONITE MINERAL FROM THE UCHTUT DEPOSIT AND POSSIBILITIES OF EXTRACTING MAGNESIUM COMPOUNDS FROM IT

**Umirov Farkhod
Ergashovich**

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

Aripov Avaz Rozikovich

Doctor of Philosophy (PhD) in
Technical Sciences, Navoi State
Mining and Technology University,
Navoi, Uzbekistan

**Pirnazarov Feruz
Gulomovich**

Senior Lecturer, Navoi State Mining
and Technology University, Navoi,
Uzbekistan

**Saifullaev Farrukhjon
Ibodovich**

Assistant, Navoi State Mining and
Technology University,
Navoi, Uzbekistan

Abstract. This article presents an in-depth study of the mineralogical composition of saponite samples obtained from the Uchtut deposit in the Navbahor district of Navoi region, Uzbekistan. The research was conducted using chemical analysis, X-ray phase analysis, infrared (IR) spectroscopy, differential thermal analysis, and gamma-spectrometric methods. The results revealed that the main mineral of this deposit is saponite, which has a high content of magnesium and calcium and offers diverse application possibilities. This enables the effective use of this raw material in chemistry, construction, agriculture, and other industries.

Keywords: saponite, calcite, montmorillonite, quartz, magnesium, muffle furnace, magnetic stirrer.

Кирish. O‘zbekiston Respublikasining Navoiy viloyati hududi, xususan Qizilqum sahrosi turli xil foydali qazilmalarga boyligi bilan ajralib turadi. Bu hududda davriy tizimning ko‘plab kimyoviy elementlarini o‘z ichiga olgan konlar mavjud bo‘lib, ularning sanoat va xalq xo‘jaligidagi ahamiyati katta. Jumladan, Qizilqum fosforitlari, Uchtut dolomitlari, bentonitlar, marmar, gips hamda boshqa ko‘plab qazilmalar sanoat miqyosida bosqichma-bosqich o‘zlashtirilgan. Hozirgi davrda mamlakatimizda yangi konlarni kompleks o‘rganish va ulardan oqilona foydalanish bo‘yicha qidiruv hamda ilmiy tadqiqot ishlari davom ettirilmoqda. Shu jumladan, saponit singari magniyga boy minerallar istiqbolli xom ashyo sifatida alohida qiziqish uyg‘otmoqda. Chunki bunday mineralarning sanoat, qurilish, kimyo, qishloq xo‘jaligi va farmatsevtika sohalarida qo‘llanish imkoniyatlari kengdir.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Saponitlar murakkab tarkibga ega mineral xom ashyo bo‘lib, turli sanoat tarmoqlarida keng qo‘llaniladigan qimmatbaho tijorat mahsulotlaridan biridir. Ular metallurgiyada temir rudasi konsentratlarini granulalash jarayonida, metall prokatlash texnologiyalarida moylash materiallari sifatida ishlatiladi.

Qurilish sohasida esa keramika mahsulotlari, kengaytirilgan loy, burg‘ulash va grouting shlamalari, plastifikatorlar ishlab chiqarishda samarali qo‘llanadi.

Neft va neftni qayta ishlash sanoatida saponitlar yoqilg‘i-moylash materiallari sifatini yaxshilash va ularni qayta tiklash, moylarni oltingugurtdan tozalash hamda sanoat chiqindilarini zararsizlantirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Kimyo sanoatida esa katalizatorlar, plomba moddalarini ishlab chiqarish, chiqindilarni tozalash va turli qo‘shimchalar tayyorlashda keng ishlatiladi. Shuningdek, saponitlar tibbiyot va farmakologiyada dori vositalari ishlab chiqarishda, oziq-ovqat sanoatida esa ichimlik suvini tozalash, suyuq organik muhitlarni barqarorlashtirishda qo‘llaniladi. Qishloq xo‘jaligida murakkab mineral qo‘shimchalar ishlab chiqarish, don va sabzavotlarni oziqlantirish orqali hosildorlikni oshirish, tuproqni melioratsiya qilish, biomineral o‘g‘itlar yaratish kabi ko‘plab yo‘nalishlarda ulardan samarali foydalanish mumkin. Shunga qaramay, mahalliy saponitlarning o‘ziga xos murakkab xususiyatlari yetarlicha o‘rganilmaganligi sababli, ushbu mineralning ilmiy va amaliy jihatdan keng qamrovli tadqiqi dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Natijalar. O‘zbekiston hududida saponit konlari mavjud bo‘lib, ulardan eng muhimlaridan biri Navoiy viloyatining Markaziy Qizilqum tekisliklarida joylashgan Uchtut koni hisoblanadi. Geologik tadqiqotlar natijalariga ko‘ra, mazkur konning asosiy saponit qatlamlari murakkab tuzilishga ega. Ba’zi uchastkalarda qatlamlar 1,7-1,9 metr oraliqlarda joylashgan bo‘lib, ularning qalinligi 10-15 santimetrni tashkil etadi va bu qatlamlarda saponit miqdori 40-60% gacha yetadi. Boshqa hududlarda esa saponit ikki qavatli ko‘rinishda uchraydi. Bunday qatlamlarning qalinligi 15-20 santimetr bo‘lib, tarkibidagi saponit miqdori nisbatan pastroq, ya’ni 20-40% atrofida aniqlangan. Ushbu geologik xususiyatlar Uchtut konidagi saponitning mineralogik tarkibini va sanoat uchun qimmatli xom ashyo sifatidagi ahamiyatini yanada oshiradi.

Ushbu ishning asosiy maqsadi - Uchtut konidan olinadigan saponit qumlarining mineralogik tarkibini o‘rganish va ularning amaliy qo‘llanilish sohasini aniqlash uchun dastlabki mineralogik hamda texnologik baholashni amalga oshirishdir. Tadqiqot uchun Navoiy viloyati hududidagi Uchtut konidan bir nechta saponit namunalari yig‘ib olindi. Namuna tayyorlash jarayonida ruda Retsch RM 200 mobil analitik maydalagich yordamida maydalangan. Maydalangan saponit rudalari AS 200 laboratoriya elak qurilmasida 0,2-4,0 mm o‘lchamgacha fraksiyalarga ajratildi.

Shundan so‘ng, saponitning tarkibi va xossalari kimyoviy hamda fizik-kimyoviy usullar orqali chuqur o‘rganildi. Jumladan, EDX-7000 qurilmasida yarim miqdoriy spektral tahlil amalga oshirilib, maydalangan rudaning 10 gramm namunasida asosiy kimyoviy elementlarning tarkibi aniqlandi. Yarim miqdoriy tahlil natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

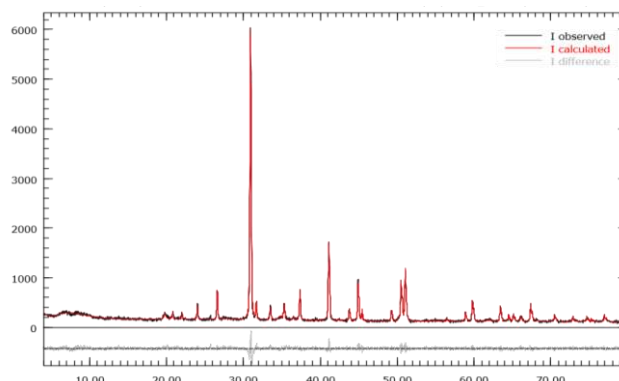
1-jadval

Saponit mineralining elementar kimyoviy tarkibi

№: elementlar	Saponit rudasi tarkibidagi elementlarining % tarkibi									
	Ca	Si	Fe	Mn	Sr	Cl	Ti	V	K	Organik aral.
№1 - yuqori qatlam	76,0	12,1	8,8	0,14	0,11	0,05	0,7	0,02	1,40	0,68
№2 - pastki qatlam	75,3	13,2	8,9	0,13	0,11	0,05	0,7	0,02	1,46	0,56

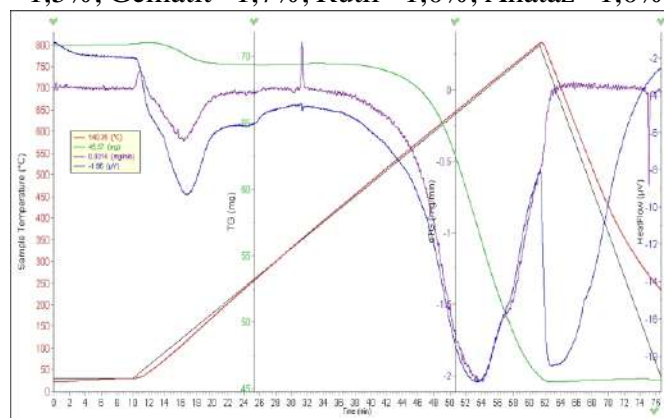
Rentgenografik tahlil DRON-UM1 rusumli rentgen difraktometri olib borildi. Qurilma ikkita Soller tirqishlari va filtrlashdan o‘tkazilgan CoK α nurlanishi bilan ishlatildi, suratga olish tezligi esa

1/min qilib belgilandi. Faza tarkibini aniqlash ASTM kartotekasiga asoslangan holda amalga oshirildi.



1-rasm. Saponitning rentgenogrammasi.

Olingan natijalarga ko‘ra, saponit tarkibida quyidagi minerallar mavjudligi aniqlandi: Saponit + montmorillonit - 75,66%, Kvars - 4,93%, Illit - 7,11%, Dolomit - 5,2%, Kalsit - 1,9%, Natriy xlorid - 1,5%, Gematit - 1,7%, Rutil - 1,0%, Anataz - 1,0%.



2-rasm. Saponit mineralining dervotogrammasi.

Differensial termal tahlil (2-rasm) Vengriyada ishlab chiqarilgan Q-1500 derivatografi yordamida 20-800 °C harorat oralig‘ida olib borildi. Pechning qizdirish tezligi 10 C/min qilib belgilandi. Sintetik sapfir esa taqqoslash uchun standart sifatida qo‘llanildi. Tajriba jarayonida o‘rganilayotgan saponit namunasini 1000°C gacha qizdirilganda, massa yo‘qotilishi 10,22% ni tashkil etdi. 160-330°C oralig‘ida kuzatilgan endoeffektlar minerallarning konstitutsion suvini chiqarib yuborish jarayonining boshlanishiga mos keladi. Harorat oshishi bilan minerallardagi aralashmalar ham asta-sekin suvsizlanadi. 330-775°C oralig‘ida kuzatilgan keng va sayoz endotermik effekt kvarsning polimorf o‘zgarishlari va kalsiy birik-

malarining dekarbonizatsiya jarayoni bilan bog'liq. 775-935°C da esa karbonatli minerallarning parchalanishi jadallashadi va massa yo'qotish tezligi ancha oshadi. Bu bosqichda qayd etilgan 9,11% massa yo'qotish asosan kalsitning intensiv parchalanishi hisobiga yuzaga keladi.

Tajribalar davomida olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, saponit minerali mufel pechida turli haroratlarda bosqichma-bosqich kuydirilganda uning tashqi ko'rinishi sezilarli darajada o'zgaradi. Xususan, mineral asta-sekin oq tusga o'ta boshlaydi va harorat ko'tarilishi bilan birga namunadagi umumiy massa ham kamayib boradi. Bu holat yuqori harorat ta'sirida saponit tarkibidagi ayrim komponentlarning parchalanishi hamda uchuvchi birikmalar ajralib chiqishi bilan izohlanadi.

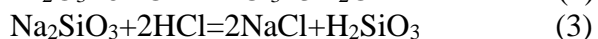
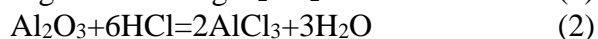
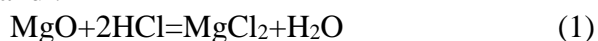
2-jadval ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, 600°C da 2-4 mkm o'lchamli saponit namunalarining massa yo'qotishi 12,42% ni tashkil etadi. Harorat 800°C ga yetkazilganda esa massa yo'qotish 37,89% gacha ortadi. Bu natija yuqori harorat ta'sirida saponit tarkibida kalsiy va magniy oksidlari hosil bo'lishini ko'rsatadi. Kuydirish jarayonida olingan saponit minerallarining o'ziga xos tarkibi va xossalari ularni xalq xo'jaligining turli sohalarida qo'llash uchun istiqbolli xom ashyo sifatida qarash mumkinligini tasdiqlaydi.

2-jadval

Saponit mineralini termik qayta ishlash

Tr	Mineralning o'lchami (mkm)	Kuydirish vaqti (min)	Dastlab og'irligi (g)	Massa yo'qotilishi %				
				600°C	650°C	700°C	800°C	900°C
1.	2-4	120	100	12.42	20.93	26.63	37.89	42.11
2.	4-8	120	100	13.13	20.18	27.5	38.54	57.62
3.	8-16	120	100	11.8	20.01	27.61	39.45	42.23

Shuningdek, kuydirilgan saponit namunalari konsentrlangan va suyultirilgan xlorid kislota eritilib, turli xlorid tuzlari hosil qilish jarayoni ham o'rganildi. Tadqiqotlar davomida xlorid kislota saponit bilan reaksiyaga kirishganda quyidagi asosiy kimyoviy reaksiyalar sodir bo'lishi aniqlandi:



Reaksiyalar mo'rili shkafda olib borildi, chunki jarayon davomida xlor gazi ajralib chiqishi ehtimoli mavjud. Tajribalar natijasida hosil bo'lgan eritma sariq rang kasb etishi kuzatildi. Saponitning xlorid kislota bilan parchalanishi natijasida kalsiy

va magniy xloridlarining eritmalari hosil bo'lish jarayoni o'rganildi. Ushbu jarayonning samaradorligi ko'p jihatdan reaksiya turli bosqichlarida hosil bo'ladigan eritmalar va atala ko'rinishidagi eritmalarning reologik xususiyatlariga bog'liqdir. Mazkur reologik ko'rsatkichlarni tahlil qilish saponit xom ashyosining parchalanish jarayonini chuqurroq tushunish, jarayonlarni samarali o'tkazish uchun optimal sharoitlarni aniqlash va ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Ushbu jarayonda olingan eritmaga ammoniy digidrofosfat (NH₄)₂PO₄ eritmasi qo'shildi. Eritma 80 °C haroratda 20 daqiqa davomida aralastirildi. Natijada dastlab sariq rangli bo'lgan eritma qaymoq rangiga o'tdi. Eritma tabiiy sharoitda sovutilgach, unda oq rangli cho'kma hosil bo'lishi kuzatildi. Tahlillar shuni ko'rsatdiki, hosil bo'lgan oq cho'kma magniy ammoniyfosfat (MgNH₄PO₄·6H₂O) birikmasi ekanligi aniqlandi. Bu natija saponitni xlorid kislota yordamida parchalanishi jarayonidan keyin eritmada mavjud bo'lgan magniy ionlarini fosfat bilan bog'lab olish mumkinligini ko'rsatadi.



Ilmiy ishimizning keyingi bosqichida mahalliy xomashyo - saponit minerali va natriy gipoxloriti asosida olingan magniy xloridi va natriy gipoxloriti o'zaro ta'sirlashuvi natijasida magniy xlorat olish jarayoni o'rganildi. Hosil bo'lgan mahsulotning chiqishi 75% ni tashkil etdi. Bu natija saponit asosida olingan xomashyo va oddiy reaktivlardan samarali foydalanish orqali yuqori samarali magniy xlorat olish imkoniyatini ko'rsatadi.



Olingan magniy xlorat namunasining tarkibi kimyoviy va fizik-kimyoviy usullar yordamida tahlil qilindi.

ClO₃⁻ ionlari mavjudligi permanganometrik usul yordamida aniqlanib, uning miqdori yuqori aniqlikda belgilandi.

Mg²⁺ kationlari esa atom-absorbtsion fotometriya usuli orqali o'lchandi.

Qo'shimcha ravishda, kompleksometrik usul yordamida magniy miqdori aniqlanib, natijalar mustahkamlandi.

Nazariy hisob-kitoblarga ko'ra magniy xlorat tarkibi quyidagi massaviy foizlarda bo'lishi kerak:

Mg²⁺-11,14%, ClO³⁻-55,79%, Na⁺-19,60%, Cl⁻-10,47%, H₂O-3,0%.

Ekspirimental tadqiqotlar natijasida amaliy olingan magniy xlorat tarkibi quyidagicha bo'ldi: Mg²⁺-11,11%, ClO³⁻-55,76%, Na⁺-19,50%, Cl⁻-10,37%, H₂O-3,2%.

Nazariy va amaliy qiymatlar orasidagi tafovutlar juda kichik bo'lib, bu sintez qilingan mahsulotning yuqori aniqlikda olinganini ko'rsatadi. Shuningdek, sintez qilingan magniy xloratning tarkibi zamonaviy fizik-kimyoviy tahlil usullari yordamida ham o'rganildi va yuqoridagi natijalar tasdiqlandi.

Saponit mineralini amaliy qayta ishlash natijalari shuni ko'rsatdiki, uni ammoniy digidrofosfat (NH₄)H₂PO₄ orqali cho'ktirish yo'li bilan magniy ammoniyfosfat olish mumkin. Ushbu birikmani qayta ishlash jarayonida magniy xloridni toza holda ajratib olish texnologiyasi ishlab chiqildi. Olingan natijalar mahalliy xomashyo asosida yuqori tozalikdagi magniy birikmalarini olish imkoniyatini namoyish etadi. Bu esa magniy xloridni turli sanoat tarmoqlarida, jumladan, kimyo, metallurgiya va farmatsevtika sohalarida qo'llash uchun mustahkam asos yaratadi.

3-jadval

Saponit mineralining HCl eritmasida eritilishi natijalari

Mineral g'ichami	Mineral massasi	HCl eritmasi	t, °C	Aralashtirish min/oyi	Vaqt	Filtrdan o'tgan suyuq faz	Eritmaning zaxligi p	Eritmaning pH muhiti	Eritmaning qovushloqligi, o
4-8 mm	10gr	5% li 100 gr eritma	40°	400 mm/ayl	60 min	46 ml	1.1 g/ml	5.5	3.14
4-8 mm	10 gr	10% li 100 gr eritma	40°	400 mm/ayl	60 min	87 ml	1.1 g/ml	2	3.26
4-8 mm	10 gr	15% li 100 gr eritma	40°	400 mm/ayl	60 min	85 ml	1.13 g/ml	1.8	3.46

Muhokoma. Tajriba ishlari davomida saponit mineralining turli konsentratsiyadagi xlorid kislota (HCl) eritmalarida turli harorat va aralashtirish tezliklarida parchalanish jarayonlari o'rganildi. Tajribalar Intellex Sterrer 300-I markali magnitli

aralashtirgich yordamida olib borildi. Birinchi bosqichda 8-16 mm o'lchamdagi saponit mineralidan 10 g olinib, 70°C haroratda 5% va 10% li HCl eritmalarida 400 ayl/min tezlikda 1 soat davomida aralashtirildi. Natijada 5% li eritmada qaynash va ko'pish kuzatildi, 10% li eritmada esa eritmaning bug'lanishi va qattiq fazaning qolishi qayd etildi. Keyingi bosqichda 40°C da 5%, 10% va 15% li HCl eritmalarida 400 ayl/min tezlikda aralashtirish amalga oshirildi. Eritmalar filtrlanib, olingan suyuq fazalar zichligi va pH qiymatlari o'lchandi.

Natijalar shuni ko'rsatdiki, kislotaning konsentratsiyasi oshishi bilan eritmada qattiq fazaning kamayishi va eritmaning pH muhiti keskin pasayishi kuzatiladi. Ayniqsa 15% li HCl eritmasida eritma kuchli kislotali muhitga ega bo'lib, pH=1,8 ni tashkil qildi.

Xulosa. Ushbu tadqiqotlar kimyoviy, rentgenfazoviy, IK-spektroskopik, differensial-termik hamda gamma-spektrometrik tahlillar asosida olib borildi. Natijalarga ko'ra, ekologik toza magniy birikmalarini olish imkoniyati mavjudligi aniqlandi. Tajriba jarayonlarida saponit minerali 600-800°C harorat oralig'ida mufel pechida kuydirildi. So'ngra xlorid kislota bilan parchalash usuli qo'llanildi va keyingi bosqichda ammoniy digidrofosfat (NH₄)H₂PO₄ bilan ta'sirlashish orqali magniy xlorid olish yo'lga qo'yildi. Olingan magniy xloridning tarkibi kimyoviy va fizik-kimyoviy tahlil usullari yordamida o'rganilib, yuqori darajadagi aniqlik bilan tasdiqlandi. Mazkur natijalar saponit mineralidan yuqori tozalikdagi magniy birikmalarini olish va ularni turli sanoat tarmoqlarida qo'llash imkoniyatlarini kengaytiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Умиров, Ф. Э., Тагаев, И. И., Намозова, Г. Р., & Умаров, Х. Ш. (2019, 14–16 ноября). Характерные признаки Учтутского доломита. В International scientific conference “Innovative Solutions of Engineering and Technological Problems of Modern Production” (с. 412–414). Бухара, Узбекистан.
- [2] Ланг, И. В., & Петрова, Т. А. (2018, 18–19 сентября). Обзор существующих направлений и методов утилизации отходов обогащения алмазоносной руды. В Материалах XVI молодёжной международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (с. 36–39). Санкт-Петербург.

- [3] Миненко, В. Г., Самусев, А. Л., & Тимофеев, А. С. (2013, 16–19 сентября). Глубокая переработка технологических шламсодержащих вод алмазодобывающих предприятий с получением сапонита. В Плаксинские чтения – 2013: Материалы международного совещания (сс. 387–390). Томск.
- [4] Косоруков, П. А. (2011). Исследование минерального состава и основных характеристик сапонита Варваровского месторождения. Энерготехнология и ресурсосбережение, (3), 38–42.

UO‘K: 631.82:622.785

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.1

ХОЖАКУЛ VA PORLITAU FOSFORITLARINING MINERALOGIK TARKIBIDA TEMIR MINERALLARINI O‘RGANISH



**Taxirova Nargisa
Baxriddinovna**

*Dotsent, Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti, Navoiy,
O‘zbekiston*

*E-mail: taxirova1983@mail.ru
ORCID ID: 0009-0009-5016-4525*



**Muxammatova Umida
Xusan qizi**

*Assistent, Navoiy davlat konchilik
va texnologiyalar universiteti,
Navoiy, O‘zbekiston*

E-mail: talabandki2014@gmail.com



**Temirov O‘ktam
Shavkatovich**

*Dotsent, Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti, Navoiy,
O‘zbekiston*

*E-mail: temirov-2012@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-0598-9335*

Annotatsiya. Ushbu ishda Qoraqalpog‘istonning Xojaqul va Porlitaу fosforitlari mineralogik tarkibidagi temir minerallari o‘rganildi hamda ularning fosforning agroximik qiymatiga ta’siri tahlil qilindi. Bunda har ikki kon fosforitlarida fosfat minerallari (frankolit va kurskit) bilan birga temir birikmalari ham aniqlandi. Jumladan, Xojaqul fosforitlarida limonit (2,78%), getit (0,86%) va pirit (0,84%), Porlitaу fosforitlarida esa limonit (2,93%) va getit (0,89%) mavjudligi ko‘rsatildi. Ushbu minerallar fosforning suvda eriydigan shaklga o‘tishini cheklab, o‘g‘it sifatidagi agroximik samaradorligini pasaytiradi. Shu sababli, fosforitlarni qayta ishlash jarayonida temir minerallarini selektiv ajratish texnologiyalarini joriy etish zarurligi asoslab berildi. Tadqiqot natijalari temirni ajratish usullarini tanlash va fosforit asosida yuqori qiymatli fosfatli o‘g‘itlar ishlab chiqarishni optimallashtirish uchun muhim ilmiy asos yaratadi.

Kalit so‘zlar: Xojaqul fosforitlari, Porlitaу fosforitlari, mineralogik tahlil, temir minerallari, limonit, getit, pirit, selektiv ajratish.

ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛОВ ЖЕЛЕЗА В МИНЕРАЛОГИЧЕСКОМ СОСТАВЕ ФОСФОРИТОВ ХОДЖАКУЛЯ И ПОРЛИТАУ

**Тахирова Наргиса
Бахриддиновна**

*Доцент, Навоийский
государственный горный и
технологический университет,
Навои, Узбекистан*

**Мухамматова Умида
Хусан кизи**

*Ассистент, Навоийский
государственный горный и
технологический университет,
Навои, Узбекистан*

**Темиров Уктам
Шавкатович**

*Доцент, Навоийский
государственный горный и
технологический университет,
Навои, Узбекистан*

Аннотация. В данной работе изучены минералы железа в минералогическом составе фосфоритов Ходжакуля и Порлытау Каракалпакстана и проанализировано их влияние на агрохимическую ценность фосфора. В фосфоритах обоих месторождений наряду с фосфатными минералами (франколитом и курскитом) обнаружены соединения железа. В частности, показано наличие в фосфоритах Ходжакуля лимонита (2,78%), гётита (0,86%) и пирита (0,84%), а в фосфоритах Порлытау – лимонита (2,93%) и гётита (0,89%). Эти минералы ограничивают переход фосфора в водорастворимую форму, снижая эффективность агрохимикатов в качестве удобрений. Таким образом, обоснована необходимость внедрения технологий селективного разделения железосодержащих минералов при переработке фосфори-

тов. Результаты исследований дают важную научную основу для выбора методов разделения железа и оптимизации процесса получения высококачественных фосфорных удобрений на основе фосфоритов.

Ключевые слова: фосфориты Ходжакула, фосфориты Порлытау, минералогический анализ, минералы железа, лимонит, гетит, пирит, селективное разделение.

STUDY OF IRON MINERALS IN THE MINERALOGICAL COMPOSITION OF KHOJAKUL AND PORLITAU PHOSPHORITES

**Takhirova Nargiza
Bakhriddinovna**

Docent, Navoi State Mining and
Technology University, Navoi,
Uzbekistan

**Mukhammatova Umida
Khusan kizi**

Assistant, Navoi State Mining and
Technology University,
Navoi, Uzbekistan

**Temirov Uktam
Shavkatovich**

Docent, Navoi State Mining and
Technology University,
Navoi, Uzbekistan

Abstract. This study investigates iron-bearing minerals in the mineralogical composition of phosphorites from the Khodzhakul and Porlytau deposits in Karakalpakstan and analyzes their impact on the agrochemical value of phosphorus. Alongside phosphate minerals (francolite and kurskite), iron compounds were identified in the phosphorites of both deposits. Specifically, the Khodzhakul phosphorites contain goethite (0.86%), limonite (2.78%), and pyrite (0.84%), while the Porlytau phosphorites contain limonite (2.93%) and goethite (0.89%). These minerals restrict the conversion of phosphorus into its water-soluble form, thereby reducing the effectiveness of agrochemicals as fertilizers. Based on the results, the necessity of implementing selective separation technologies for iron-bearing minerals during phosphorite processing is substantiated. The findings provide a significant scientific foundation for choosing iron separation methods and optimizing the production of high-quality phosphate fertilizers from phosphorites.

Keywords: Khodzhakul phosphorites, Porlytau phosphorites, mineralogical analysis, iron minerals, limonite, goethite, pyrite, selective separation.

Kirish. Fosforit minerallari qishloq xo'jaligi uchun asosiy fosfor manbai hisoblanadi. Biroq ko'pgina tabiiy fosforit konlari tarkibida temir va alyuminiy oksidlari katta ulushni tashkil qilib, fosfatlarning suvda eriydigan shaklga o'tishiga to'sqinlik qiladi. Shu sababli temir saqlagan fosforitlarni qayta ishlash va ulardan temirni ajratib olish masalasi nafaqat agrosanoat sohasi, balki atrof-muhit muhofazasi va tabiiy resurslardan oqilona foydalanish strategiyasi uchun ham dolzarb hisoblanadi.

Olimlar tomonidan o'tkazilgan tadqiqotlarda turli xil yondashuvlar ishlab chiqilgan: kislotali ishlov berish, sorbtsion va ekstraksiya usullar, termoximik jarayonlar hamda biotexnologik yo'nalishlar. Bu texnologiyalar orqali temir selektiv ajratilib, suvda eriydigan $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ va CaHPO_4 kabi birikmalar hosil qilinadi. Bunday o'g'itlar qishloq xo'jaligida yuqori samarali bo'lib, o'simliklar tomonidan oson o'zlashtiriladi.

Eng muhim jihatlardan biri — chiqindidan

ajratib olingan temir sanoatda ikkinchi xomashyo sifatida qo'llanilishi mumkin. Shu orqali resurs tejamlorligi ta'minlanadi va atrof muhitga chiqindilarning zararli ta'siri kamayadi. Shuningdek, biotexnologik usullarda mikroorganizmlar ishtirokidagi jarayonlar ekologik toza va energiya tejamlor hisoblanadi.

Ushbu tadqiqot (Journal of Sustainable Metallurgy) xitoylik olimlar tomonidan olib borilgan bo'lib, temir bilan ifloslangan fosforitni boyitishda magnit va flotatsiya usullarini foydalanish taklif etilgan. Fosforitni avval past kuchlilikdagi magnit maydonida temirdan tozalash, keyin flotatsiya qilish orqali P_2O_5 miqdorini 28% dan 34% ga oshirish mumkinligi ko'rsatilgan. Temir miqdori 12% dan 2% gacha kamaytirildi. Bu usul boyitish samaradorligini oshirish bilan birga energiya xarajatlarini optimallashtirishga qaratilgan.

Ushbu ishda fosforitni xlorid kislotada eritib, temirni olib tashlash usuli o'rganilgan. Kislotada

temirni eritma shaklida ajratib, qolgan qismida foydali fosfor qoldiradi. Natijada P_2O_5 konsentratsiyasi 31% gacha oshirildi, ajralgan temir esa temir oksidi sifatida qayta ishlanishi mumkin. Usul oddiy va samarali, ammo kislota sarfi va korroziya muammolari mavjud.

Tadqiqotda fosforitni magnit xususiyatini oshiruvchi qaynatish (roasting) jarayoni orqali ishlov berish, so'ngra magnit ajratish usuli yordamida temirni yo'qotish tadqiq etilgan. Maxsus pechda qizdirilgan fosforitdagi temir magnitga oson tortiladigan shaklga o'tadi. Bu jarayon yuqori darajada samarali bo'lib, fosforni yo'qotmasdan temirni ajratish imkonini beradi.

Braziliya tadqiqotchilar kislota asosida fosforitdan temir aralashmalarini flotatsiya yo'li bilan olib tashlashni o'rgandilar. Usul temir miqdorini 8% gacha kamaytirishga imkon berdi, fosfor saqlanib qoldi. Bu usul, ayniqsa, mayda zarrali fosforitlar uchun samarali hisoblanadi va kimyoviy chiqindilar muammosini engillashtiradi.

Ushbu ishda oliy-fosforli temir rudalaridan bir vaqtning o'zida ham temir, ham fosforni qayta ishlashga qaratilgan yangi yondashuv tavsiflangan. Kislotali ekstraksiya va kimyo-metallurgiya usullari orqali ikkala komponent ham yuqori darajada qaytarildi. Bu atrof-muhit va resurslar samaradorligi nuqtai nazaridan ayniqsa qimmatli hisoblanadi.

Вишнякова (1981) Kautau fosforitlaridagi yuqori temir miqdori (Fe_2O_3 10-15%) aniqlangan P_2O_5 tarkibini (28-32%) qiyinlashtiradi, chunki temir fosforni o'simliklar o'zlashtira olmaydigan birikmalarga aylantiradi. Cullity va Stock (2001) ta'kidlaganidek, rentgen-fazali tahlil temirning getit ($FeOOH$) va gematit (Fe_2O_3) sifatida mavjudligini aniqlash imkonini beradi, bu esa magnit ajratish usulini tanlashda muhimdir. Abiodun va b. (2023) biomassa asosida sorbentlar (paxta chigiti) fosforitni kimyoviy ishlov berishdan keyin eritmada qolgan kadmiy (Cd) va qo'rg'oshin (Pb) ni 90-95% ga kamaytirish imkonini isbotlagan, bu esa toza fosfat konsentrati olish uchun zarur.

Shen va b. (2011) tadqiqoti ko'rsatadiki, temir bilan ifloslangan fosforning o'simliklar tomonidan o'zlashtirilishi 0.1% dan ham past bo'lishi mumkin. Temirni olib tashlangan fosforitlardan olingan o'g'itlarda esa, fosforning o'zlashish darajasi 70-80% gacha oshadi. Zapata va Roy (2004) xisobotlaricha, fosforitlardan temirni magnit

ajratish orqali olib tashlaganda, TPK (tuproqdagi fosforni o'zlashtirish koeffitsienti) 30-35% ga oshishi mumkin. Han va bosh. (2007) esa, temir yo'q fosfat o'g'itlari ishlatilgan tuproqlarda mangan (Mn) va sink (Zn) kabi mikroelementlarning o'zlashishi 25-30% ga yaxshilanishini ko'rsatgan.

Chien va b. (2009) magnit-flotatsiya kombinatsiyasi orqali fosforitlardagi temir miqdorini 12% dan 2% ga pasaytirish, shu bilan birga P_2O_5 tarkibini 28% dan 34% ga oshirish mumkinligini ko'rsatdi. Xasanov va b. (2019) Markaziy Osiyo fosforitlarini magnit-varash usuli bilan ishlov berish natijasida temirni 85% gacha ajratib olish va fosfat qismining o'suvchanligini 75% dan 92% ga oshirish imkonini aniqladi. Singh va Schulze (2015) tuproqdagi temir oksidlari bir grammi 4-5 mg fosforni bog'lashini ko'rsatganiday, o'g'itdan temirni olib tashlash uning samaradorligini tubdan oshirishning asosiy omilidir.

Demak, fosforitlarining mineralogik tarkibini aniqlash, ulardagi temir minerallari (limonit, getit, pirit) ulushini baholash hamda fosforning agroximik qiymatiga ularning ta'sirini o'rganish, shuningdek, olingan ma'lumotlar asosida temir minerallarini selektiv ajratish imkoniyatlarini ilmiy jihatdan asoslab berish va fosforitlarni yuqori qiymatli fosfatli o'g'itlar ishlab chiqarish jarayonlarida qo'llash istiqbollari ko'rsatish muhim va dolzarb hisoblanadi.

Metodika. Fosforitlar namunalari mineralogik tarkibini aniqlash maqsadida bir qator fizik-kimyoviy tahlil usullari qo'llanildi. Dastlab namunalar 1-2 sm kattalikda maydalanib, laboratoriya sharoitida elektromexanik tegirmonda 0,063 mm gacha yetilishi ta'minlandi. Namunalar havo muhitida quritilib, barqaror vaznga keltirilgandan so'ng mineralogik tahlil uchun tayyorlandi, hamda mineral tarkibini o'rganildi.

Olingan natijalar. Olib borilgan mineralogik tahlillardan ma'lum bo'lishicha, Qoraqalpog'istonning Porlitau fosforitlari asosan kalsiy fosfat minerallariga boy. Jadval natijalariga ko'ra, asosiy mineral kurskit ($Ca_{10}P_4.8C_{1.2}O_{22.8}F_2(OH)_{1.2}$) 44,79% ni tashkil qiladi. Bu ko'rsatkich fosforitning yuqori qiymatli fosfatli o'g'itlar manbai ekanini ko'rsatadi. Shu bilan birga, tarkibda kislotala eriydigan kvarts (SiO_2) 36,97 % bo'lib, bu mineral asosan inert aralashma sifatida hisoblanadi.

Kam miqdorli minerallar sifatida feldshpatlar (5,89%), gips (2,88%), magnezit (2,91%) va kalsit (0,76%) aniqlandi. Bu minerallar qo‘shimcha ravishda kalsiy, magniy va sulfat ionlari manbai bo‘lib xizmat qiladi.

1-jadval

Porlitau fosforitlarining mineralogik tarkibi

№	Mineral nomi	Formula (agar berilgan bo‘lsa)	Miqdori, %	Izoh
1	Kurskit	$Ca_{10}P_{4.8}C_{1.2}O_{22.8}F_2(OH)_{1.2}$	44,79	Asosiy mineral, yuqori qiymatli fosfat manbai
2	Kvars	SiO_2	36,97	Kislotaga eriydigan, inert aralashma
3	Feldshpatlar	–	5,89	Qo‘shimcha mineral
4	Magnezit	$MgCO_3$	2,91	Mg^{2+} ionlari manbai
5	Gips	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2,88	Ca^{2+} va SO_4^{2-} ionlari manbai
6	Limonit	$FeO(OH) \cdot nH_2O$	2,93	Fosfor bilan raqobatchi mineral
7	Getit	$FeO(OH)$	0,89	Fosfor bilan raqobatchi mineral
8	Kalsit	$CaCO_3$	0,76	Ca^{2+} ionlari manbai
9	Qoldiq va suv miqdori	–	1,98	Namlik va aralashmalar

Tarkibda fosfor bilan raqobat qiluvchi temir minerallari ham mavjud: limonit (2,93%) va getit (0,89%). Ushbu minerallar fosforning suvda eriydigan shaklga o‘tishini cheklab, uning agroximik qiymatini pasaytiradi. Shuningdek, tarkibda qoldiq va suv miqdori 1,98 % ni tashkil qildi.

Xojakul fosforitlari mineralogik tarkibi jihatidan fosfatlarga boy bo‘lib, asosiy minerallar sifatida frankolit ($Ca_{10}P_{5.2}Co_{0.8}O_{23.2}F_{1.8}OH$ – 28,18 %) va kurskit ($Ca_{10}P_{4.8}C_{1.2}O_{22.8}F_2(OH)_{1.2}$ – 23,78%) ajralib turadi. Bu ko‘rsatkichlar ularning yuqori qiymatli fosfatli o‘g‘itlar manbai ekanini tasdiqlaydi.

Tarkibdagi qo‘shimcha minerallardan kvars (SiO_2 – 25,78%) katta ulushni tashkil etadi. U asosan inert faza bo‘lib, qishloq xo‘jaligi jihatidan faol ahamiyatga ega emas, ammo o‘g‘it tarkibida mineral yuklanish vazifasini bajaradi. Shuningdek, glaukonit (2,98%), vollastonit (3,01%), kalsit (2,86%) va gips (1,28%) minerallari mavjud bo‘lib, kalsiy, magniy va silikat manbalari sifatida

qo‘shimcha ahamiyat kasb etadi.

Temir minerallari sifatida limonit (2,78%), getit (0,86%) va pirit (0,84%) aniqlangan. Bu birikmalar fosforning suvda eriydigan shaklga o‘tishini cheklaydi, shu sababli ularni ajratish qayta ishlash jarayonida muhim bosqich hisoblanadi.

2-jadval

Xojakul fosforitlari mineralogik tarkibi

№	Mineral nomi	Formula	Miqdori, %	Izoh
1	Frankolit	$Ca_{10}P_{5.2}Co_{0.8}O_{23.2}F_{1.8}OH$	28,18	Asosiy mineral, yuqori qiymatli fosfat manbai
2	Kurskit	$Ca_{10}P_{4.8}C_{1.2}O_{22.8}F_2(OH)_{1.2}$	23,78	Asosiy mineral, yuqori qiymatli fosfat manbai
3	Kvars	SiO_2	25,78	Asosan inert faza, mineral yuklanish vazifasini bajaradi
4	Vollastonit	$CaSiO_3$	3,01	Ca^{2+} va SiO_3^{2-} manbai
5	Glaukonit	$(K,Na)(Fe^{3+}, Al, Mg)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$	2,98	Ko‘shimcha mineral, Mg va K manbai
6	Kalsit	$CaCO_3$	2,86	Ca^{2+} ionlari manbai
7	Gips	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,28	Ca^{2+} va SO_4^{2-} manbai
8	Limonit	$FeO(OH) \cdot nH_2O$	2,78	Fosfor bilan raqobatchi mineral
9	Getit	$FeO(OH)$	0,86	Fosfor bilan raqobatchi mineral
10	Pirit	FeS_2	0,84	Fosfor bilan raqobatchi mineral

Xulosa. Olib borilgan mineralogik tahlillar natijasida Xojakul va Porlitau fosforitlarining asosiy minerallari frankolit va kurskit ekani, ular yuqori qiymatli fosfatli o‘g‘itlar ishlab chiqarish uchun muhim manba bo‘lib xizmat qilishi aniqlandi. Biroq tarkibda temir minerallari — limonit, getit va piritning mavjudligi fosforning suvda eriydigan shaklga o‘tishini cheklab, uning agroximik qiymatini pasaytiradi. Shu bois, fosforitlarni qayta ishlash jarayonida temir minerallarini selektiv ajratish zarurligi asoslab berildi. Shu sababli qayta ishlash – kislotali ishlov berish, sorbsion yoki biotexnologik usullar – ulardan samarali fosforli o‘g‘itlar olish imkoniyatini yaratadi. Bu jarayon resurs tejamkorligi va atrof-muhit muhofazasi nuqtai nazaridan istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

- [1] Li, X., & Zhang, Y. (2023). High-iron phosphorite beneficiation using combined. Journal of Sustainable Metallurgy, 9(2), 712–725. <https://doi.org/10.1007/s40831-023-00681-6>

- [2] El-Shall, H., & Zhang, P. (2022). Leaching of iron from phosphate ore using hydrochloric acid. *Minerals Engineering*, 180, 107473. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107473>
- [3] Wang, J., & Liu, R. (2021). Sustainable utilization of high-iron phosphorus ore via magnetic roasting–magnetic separation. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(15), 5431–5440. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c00509>
- [4] Santos, A., & Peres, A. (2020). Flotation of iron impurities from phosphorite ores using hydroxamic acid. *International Journal of Mineral Processing*, 204, 102408. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2020.102408>
- [5] Jiang, T., et al. (2023). A new approach for simultaneous recovery of iron and phosphorus from high-phosphorus oolitic iron ore. *Chemosphere*, 313, 137325. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137325>
- [6] Вишнякова, А. А. (1981). Фосфорные удобрения из каратауских, гулиобских и других фосфоритов. Москва: Наука.
- [7] Abiodun, O.-A. O., Oyebamiji, A. S., Oladipo, A. Y., Alade, O. S., & Babatunde, E. O. (2023). Remediation of heavy metals using biomass-based adsorbents: Adsorption kinetics and isotherm models. *Surfaces*, 5(3), 145–162.
- [8] Cullity, B. D., & Stock, S. R. (2001). *Elements of X-ray diffraction* (3rd ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- [9] Shen, J., Yuan, L., Zhang, R., Li, H., Bai, Z., & Chen, X. (2011). Phosphorus dynamics: From soil to plant. *Plant Physiology*, 156(3), 997–1005.
- [10] Zapata, F., & Roy, R. N. (2004). *Use of phosphate rocks for sustainable agriculture*. Rome: FAO.
- [11] Han, F. X., Ouyang, Y., Chen, J., & Jiang, X. (2007). *Phosphorus dynamics in the soil–plant system*. New York: Nova Science Publishers.
- [12] Chien, S. H., Prochnow, L. I., & Cantarella, H. (2009). Recent developments of fertilizer production from phosphate rocks. *Fertilizer Research*, 102(2), 267–277.
- [13] Хасанов, Б., Тиллаева, Н., & Умаров, А. (2019). Фосфатные удобрения из фосфоритов Центральной Азии. *Универсум: химия и биология*, (6[60]), 45–52.
- [14] Singh, B., & Schulze, D. G. (2015). Soil iron and aluminum oxides and their role in phosphorus sorption. *Soil Science Society of America Journal*, 79(3), 1065–1077.

UO‘K: 631.842.4

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.5

ISHQORIY MUHITDA FAOLLASHTIRILGAN DEFEKAT CHIQINDISINING IQ-SPEKTROSKOPIK TAHLILI



Azimova Durdona Abdulloyevna

*Texnika fanlar falsafa doktori, Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti, Navoiy, O‘zbekiston*
E-mail: durdonaazimova7@gmail.com
ORCID ID: 0009-0004-2526-2864



Norqulov Mehridin Isoqul o‘g‘li

*Tayanch doktornt, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar
universiteti, Navoiy, O‘zbekiston*
E-mail: norkulovmehridin@gmail.com
ORCID ID: 0009-0007-4962-928X

Annotatsiya. Ushbu ishda shakar sanoati chiqindisi ya'ni defekatni ishqoriy muhitda (NaOH eritmasi) faollashtirish natijasida hosil bo'lgan namunaning tarkibiy va funksional tahlili IQ-spektroskopiya usulida o'rganildi. Spekr tahlillari kalsiy karbonatning qisman kalsiy gidroksidi va natriy karbonatiga aylanganini, yuzada faol gidroksil guruhlari hosil bo'lganini ko'rsatdi. Shu bilan birga organik moddalar (pektin, shakar qoldiqlari, azotli va azotsiz organik birikmalar) ning karbonil, karboksil va C–H tebranishlari qayd etildi. Defekat tarkibidagi mineral qo'shimchalar magniy, kaliy, fosfor birikmalari va silikatlar ham spektrda aks etdi. Olingan natijalar ko'rsatdiki shakar ishlab chiqarish chiqindi mahsuloti defekatni ishqoriy muhitda faollashtirish jarayonida olingan namunalar ya'ni, sorbentlarning yuza maydoni va faol markazlarini ko'paytirishi mumkinligini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: defekat, NaOH, kalsiy karbonat, gidroksil guruhlari, sorbent, adsorbsiya.

ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕФЕКТА, АКТИВИРОВАННОГО В ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЕ

Азимова Дурдона Абдуллоевна

*Навоийский государственный горный и технологический
университет, Навои, Узбекистан*

Норкулов Мехриддин Исокул угли

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

Аннотация. В данной работе методом ИК-спектроскопии исследованы структурные и функциональные изменения образца, полученного при активации дефектата — отхода сахарной промышленности — в щелочной среде (раствор NaOH). Анализ спектров показал, что карбонат кальция частично превращается в гидроксид кальция и карбонат натрия, при этом на поверхности образуются активные гидроксильные группы. Одновременно были зафиксированы колебания карбонильных, карбоксильных и C–H групп, относящихся к органическим веществам (пектин, остатки сахара, азотсодержащие и безазотистые органические соединения). Минеральные примеси дефектата — соединения магния, калия, фосфора и силикаты — также проявились в спектре. Полученные результаты показали, что процесс активации дефектата в щелочной среде способствует увеличению удельной поверхности и числа активных центров сорбентов, повышая их эффективность при адсорбции тяжелых металлов.

Ключевые слова: дефектат, NaOH, карбонат кальция, гидроксильные группы, сорбент, адсорбция.

IR SPECTROSCOPIC ANALYSIS OF DEFECATE WASTE ACTIVATED IN ALKALINE MEDIUM

Azimova Durdona

*Navoi State University of Mining and Technology,
Navoi, Uzbekistan*

Norkulov Mexriddin

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

Abstract. *This study investigates the structural and functional properties of a sample obtained by activating defecate — a sugar industry by-product — in an alkaline medium (NaOH solution) using IR spectroscopy. Spectral analysis revealed that calcium carbonate was partially transformed into calcium hydroxide and sodium carbonate, accompanied by the formation of active hydroxyl groups on the surface. Vibrations corresponding to carbonyl, carboxyl, and C–H groups of organic substances (pectin, sugar residues, nitrogenous and non-nitrogenous organic compounds) were also identified. Mineral components of the defecate, such as magnesium, potassium, phosphorus compounds, and silicates, appeared in the spectrum as well. The obtained results demonstrated that the activation of defecate in an alkaline medium leads to an increase in the specific surface area and the number of active sites of the resulting sorbents, thereby improving their adsorption efficiency toward heavy metal ions.*

Keywords: *defecate, NaOH, calcium carbonate, hydroxyl groups, sorbent, adsorption.*

Kirish. Hozirgi vaqtda sanoat va qishloq xo'jaligi ishlab chiqarish tarmoqlari tez sur'atlarda rivojlanar ekan, ulardan chiqadigan og'ir metallar bilan ifloslangan oqova suvlar global ekologik muammolardan biriga aylanmoqda. Shuningdek, ularning tuproq va suv tizimlarida uzoq muddat saqlanib qolishi qishloq xo'jaligi mahsulotlari sifatiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Mazkur holatda chiqindilarni qayta ishlab, arzon va samarali adsorbentlar tayyorlash suv resurslarini muhofaza qilish va barqaror ekologiyani ta'minlashda dolzarb ahamiyatga ega. Qand sanoatida shakar ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'ladigan defekat chiqindisi bu yo'nalishda istiqbolli xom ashyo hisoblanadi, chunki uning tarkibi kalsiy karbonati va organik moddalarga boy. Biroq tabiiy holdagi defekatning adsorbsiya qobiliyati cheklangan bo'lgani uchun uni modifikatsiya qilish zarur. Ishqoriy muhitda modifikatsiya qilish orqali defekatning tarkibiy va funksional xususiyatlari yaxshilanadi, yuzada faol gidroksil markazlari hosil bo'lib, adsorbsiya maydoni kengayadi va og'ir metallar bilan ion almashinish jarayonlari samarali kechadi. Bu esa suvni tozalashda arzon, samarali va ekologik xavfsiz texnologiyani ishlab chiqish imkonini yaratadi.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Oqova suvlarni og'ir metallardan tozalashning turli usullari mavjud bo'lib, ular qatorida kimyoviy neytrallashtirish, tuz chiqarish, flotatsiya, membranali texnologiyalar

va biosorbsiya kabilar alohida o'rin tutadi. Biroq amalda ko'p hollarda arzon va samarali sorbentlardan foydalanishga ehtiyoj yuqori. Sorbentlar asosidagi texnologiyalar, ayniqsa, qishloq xo'jaligi va sanoat chiqindilarini qayta ishlash orqali olingan moddalarni ishlatish imkoniyati bilan ahamiyatlidir. Chunki bunday chiqindilar arzon va mahalliy xomashyo manbai hisoblanadi [1-2].

Defekat — qand sanoatida shakar ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'ladigan asosiy chiqindilardan biri. Uning tarkibi, asosan, kalsiy karbonati (CaCO_3), magniy tuzlari, fosfatlar va organik moddalardan iborat. Defekatning katta hajmlarda chiqishi va ko'p hollarda poligonlarga tashlab yuborilishi atrof-muhitga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli uni qayta ishlab, qo'shimcha qiymatga ega mahsulot olish dolzarb vazifa hisoblanadi. Oxirgi yillarda defekat chiqindisidan turli xil qo'shimchalar, o'g'itlar va adsorbentlar tayyorlash bo'yicha izlanishlar olib borilmoqda. Mexanik faollashtirish jarayoni xom ashyo zarrachalarining o'lchamini kichraytirib, ularning yuza maydonini oshiradi va faol markazlarni ko'paytirib beradi. Bu jarayon adsorbsiya qobiliyatini kuchaytiradi. Ayniqsa, ishqoriy muhitda ishlov berish kalsiy va magniy karbonatlarining qisman gidroksidlarga aylanishiga olib keladi, bu esa sorbentning reaksiya qobiliyatini yanada oshiradi. Ilmiy tadqiqotlarda ishqoriy muhitda modifikatsiyalangan tabiiy minerallar va orga-

nominal chiqindilar og‘ir metallar uchun yuqori sorbsiya samaradorligi ko‘rsatgan [3-4].

Shuningdek, defekatning tabiiy tarkibidagi Ca^{2+} va Mg^{2+} ionlari og‘ir metallar bilan ion almashinish reaksiyalariga kirishishi mumkin. Masalan, $Ca^{2+} \leftrightarrow Pb^{2+}$ yoki $Mg^{2+} \leftrightarrow Cd^{2+}$ almashinuv reaksiyalari orqali suv tarkibidagi og‘ir metallar konsentratsiyasini kamaytirish mumkin. Bunday jarayonlarda adsorbsiyaning mexanizmi bir vaqtning o‘zida ham fizik, ham kimyoviy xususiyatlarga ega bo‘lishi bilan farqlanadi [6].

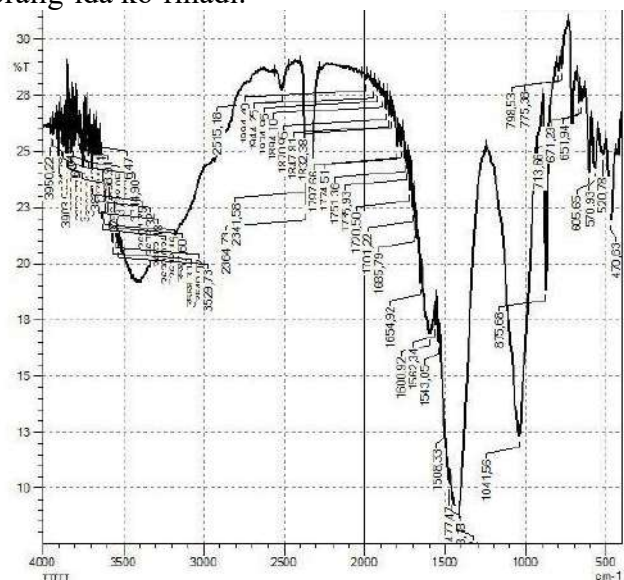
Defekat chiqindisini sorbent sifatida qo‘llashning yana bir ustun jihati — uning iqtisodiy arzonligi va mahalliy manbalardan oson topilishi. O‘zbekistonda shakar ishlab chiqarish korxonalarini yillik minglab tonna defekat chiqindisini hosil qiladi. Agar ushbu chiqindidan foydalanish texnologiyasi yo‘lga qo‘yilsa, bir tomondan chiqindilardan tozalash muammosi hal qilinadi, ikkinchi tomondan arzon va samarali sorbent olish imkoniyati yaratiladi. Bu esa suv resurslaridan samarali foydalanish va atrof-muhit muhofazasi yo‘nalishida muhim qadam hisoblanadi. Adabiyotlarda keltirilib, turli biomassa, mineral va sanoat chiqindilari asosida tayyorlangan adsorbentlar og‘ir metallarni 70–95 % darajada sorbsiya qila olishi mumkin [7]. Shu bilan birga defekatning asosiy ustunligi uning tabiiy ishqoriy xususiyatga ega bo‘lishi va Ca^{2+}/Mg^{2+} ionlari ishtirokida faol ion almashinish jarayonlarini ta‘minlashidir.

Shuning uchun ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi defekat chiqindisini ishqoriy muhitda mexanik faollashtirish orqali og‘ir metallar ionlarini samarali zararsizlantiradigan sorbentlar tayyorlashdan iborat.

Ushbu tadqiqotda namunalar ishqoriy muhit sifatida faqat 1,0 M natriy ishqori bilan defekat chiqindisini 90 minut davomida mexanik faollantirildi so‘ng, defekat namunasi eritmada 24 soat davomida saqlandi. Reaksiya tugagach 105 °C haroratda to‘liq quritish amalga oshirildi. Namunalarning strukturasi va organik guruhlar haqida ma‘lumot olish uchun infraqizil spektroskopiyasi (FTIR) usulidan foydalanildi.

Natijalar. Defekat namunasining IQ-spektroskopik tahlil natijalari olingan spektrdagi asosiy polosalar va ularning manbalari aniqlanadi: tarkibning asosiy qismini tashkil etuvchi kalsiy karbonat 1450–1420 cm^{-1} va 875 cm^{-1} dagi kuchli

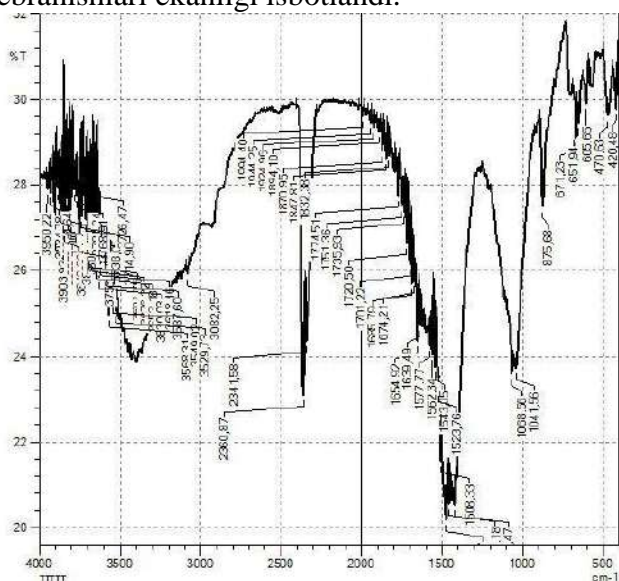
piklar orqali namoyon bo‘ladi, bu yerda CO_3^{2-} ionlarining valent va deformatsion tebranishlari qayd etilgan. Bu esa $CaCO_3$ ning yuqori ulushi sababli spektrda kalsit kristallik fazasiga xos chiziqlar ekani yaqqol ko‘rinadi. Defekatdagi azotsiz organik moddalar va shakar 2920–2850 cm^{-1} diapazonidagi C–H bog‘larining valent tebranishlari va 1750–1650 cm^{-1} oralig‘idagi C=O tebranishlari orqali namoyon bo‘lib, organik moddalarning karbonil va efir guruhlari mavjudligini ko‘rsatadi. Azotli organik moddalar esa spektrning 1640–1560 cm^{-1} oralig‘idagi N–H deformatsion tebranishlari va C–N bog‘lari bilan bog‘liq signallar orqali qayd etiladi, bu esa defekatning biogen tabiatini va aminokislota hamda oqsil qoldiqlarini tasdiqlaydi. Pektin moddalari va organik kislotalarning kalsiyli tuzlari infraqizil spektrdagi 1080–1040 cm^{-1} oralig‘idagi piklarda aks etgan bo‘lib, bu yerda C–O–C va C–O–H tebranishlari kuzatiladi, shuningdek, kalsiy bilan bog‘langan organik qo‘shimchalarning mavjudligi namoyon bo‘ladi. Fosfor birikmalari 1100–1000 cm^{-1} dagi P–O tebranishlari orqali qayd etilgan bo‘lib, bu spektrda kuchsiz signallar sifatida ko‘rinadi. Magniy va kaliy tuzlari tarkibi asosan Ca^{2+} va Mg^{2+} bilan bog‘liq metall–kislород tebranishlari orqali 600–500 cm^{-1} oralig‘ida ko‘rinadi.



1-rasm. Defekatning IQ-spektroskopiyasi.

Ishqoriy muhitda faollashtirilgan defekat namunasining IK-spektroskopik tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki spektrning 3600–3200 cm^{-1} oralig‘idagi keng va intensiv piklar (ayniqsa 3590–

3520 cm^{-1} atrofida) gidroksil guruhlariga tegishli bo'lib, ishqoriy muhitda kalsiy karbonatining kalsiy gidroksidi ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)ga aylanishi va yuzada qo'shimcha faol $-\text{OH}$ markazlarining paydo bo'lishini tasdiqlaydi. 2920–2850 cm^{-1} atrofida kichik piklar organik moddalarning qoldiqlari bilan bog'liq C–H valent tebranishlarini ko'rsatib, shakar sanoati chiqindisidagi uglevodlar, pektin va shakar qoldiqlarining mavjudligini isbotlaydi. 1750–1650 cm^{-1} diapazonidagi piklar karboksil guruhlarining C=O tebranishlari bilan bog'liq bo'lib, defekat tarkibidagi organik moddalarning ishqoriy muhit ta'sirida qisman modifikatsiyalanganini ko'rsatadi. 1080–1040 cm^{-1} atrofida signallar C–O va Si–O tebranishlari bilan bog'liq bo'lib, organik qo'shimchalar hamda defekat tarkibidagi silikat minerallarining mavjudligini ko'rsatadi. 790–710 cm^{-1} oralig'idagi piklar kalsit fazasiga xos karbonat tebranishlari ekanligi isbotlandi.



2-rasm. Ishqoriy muhitda faollashtirilgan defekat namunasining IQ-spektroskopiyasi.

Muhokama. Spektrda ishqoriy ishlovdan keyingi asosiy o'zgarishlar – gidroksil piklarining kuchayishi, karbonat piklarining nisbatan pasayishi va organik moddalar bilan bog'liq signallarning zaiflashishi sifatida namoyon bo'ldi. Bu holat NaOH ta'sirida CaCO_3 ning bir qismi Na_2CO_3 va $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ga aylanganini, shu bilan birga organik moddalarning ayrimlari gidrolizga uchraganini ko'rsatadi. Natijada defekatning yuz maydoni va funksional guruhlar soni ko'paygan, bu esa uning adsorbsiya qobiliyatini oshiradi. Ishqoriy muhitda faollashtirilgan namunaning spektri unda CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, organik moddalar qoldiqlari va silikat qo'shimchalarining uyg'un tarzda mavjudligini ko'rsatadi. Bu o'zgarishlar sorbentning faolligi va og'ir metallar bilan ion almashinish hamda cho'ktirish reaksiyalaridagi samaradorligini ilmiy jihatdan asoslab berib, ishqoriy modifikatsiya jarayoni defekatning sorbent sifatidagi qiymatini oshirishi aniqlandi.


Xulosa. IK-spektroskopik tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, defekat chiqindisini ishqoriy muhitda faollashtirish jarayoni uning mineral-organik tarkibida sezilarli o'zgarishlar yuz berishiga olib keladi. Asosiy komponent bo'lgan kalsiy karbonati qisman kalsiy gidroksidi va natriy karbonatiga aylanib, namunaning adsorbsiya yuzasida faol gidroksil guruhlarini paydo bo'ladi. Bu o'zgarishlar sorbentning reaksiya qobiliyatini oshirib, og'ir metallar ionlari bilan ion almashinish va cho'ktirish jarayonlarini faollashtiradi. Spektrda qayd etilgan C–H va C=O tebranishlari defekatning biogen tabiatini va unda organik moddalar qoldiqlarining saqlanib qolganini isbotladi, bu esa sorbentning kompleks xosil qilish qobiliyatini yanada kuchaytiradi. Silikat va boshqa mineral qo'shimchalarning mavjudligi ham sorbsiya jarayonida yordamchi rol o'ynashi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Vesentsev, V. S., Vlasov, V. A., & Malyshenko, N. V. (2018). A composite sorbent based on bentonite-like clay and hydroxyapatite. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 40, 45–53.
- [2] Вишнякова, А. А. (2021). Фосфорные удобрения из каратауских, гулиобских и других фосфоритов. Москва: Наука.
- [3] Phaenark, C., Lin, F., Wei, X., Pang, J., & Liang, B. (2024). Moss biomass as effective biosorbents for heavy metals in contaminated water. *Heliyon*, 10(2), e27232.
- [4] Younis, A. M., Alkahtani, F., El-Naggar, A. H., El-Sayed, M., Alotaibi, B. S., & Alhussaini, M. S. (2024). Enteromorpha compressa macroalgal biomass nanoparticles as eco-friendly biosorbents for the efficient removal of harmful metals from aqueous solutions. *Environments*, 5(3), 21.

- [5] Abiodun, O.-A. O., Oyebamiji, A. S., Oladipo, A. Y., Alade, O. S., & Babatunde, E. O. (2023). Remediation of heavy metals using biomass-based adsorbents: Adsorption kinetics and isotherm models. *Surfaces*, 5(3).
- [6] Азимова, Д. А., & Салиханова, Д. С. (2021, 24 март). Шакар ишлаб чиқариш чиқиндиси дефекат асосида юқори самарали сорбентлар олиш. В Қорақалпоғистон Республикасида кимё ва кимёвий технология соҳаларининг долзарб муаммолари (сс. 418–419). Нукус.
- [7] Azimova, D. A., Salikhanova, D. S., Bakhranova, N. S., Eshmetov, I. D., & Temirov, U. Sh. (2023, September). Treatment of industrial wastewater with activated samples based on defekate and bentonite. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 10(9).

UDC: 669.015

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.24

DEVELOPMENT OF PRODUCTION TECHNOLOGY FOR FIBROUS, HEAT-INSULATING, FILTERING MATERIALS AND TECHNICAL PRODUCTS



**Sattorov Laziz
Kholmurodovich**

Docent, Karshi state technical
university, Karshi, Uzbekistan
E-mail: sattorovlaziz@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-9028-1225



**Kurbanov Abdiraxim
Axmedovich**

Professor, Bukhara engineering-
technological institute,
Bukhara, Uzbekistan
E-mail: bo_bosh@mail.ru
ORCID ID: 0009-0008-3484-2851



**Juraeva Huriyat
Zoirovna**

Lecturer of the University of
Economics and Pedagogy,
Karshi, Uzbekistan
E-mail: Huriyat_2025@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-9028-1225

Abstract. This article presents the results of research on the influence of external factors on the quality of processed materials from the “Qizilqum” basalt deposits. During the experiments, mechanical cleaning and assessment of the chemical properties of basalt rock samples obtained from three different deposits were carried out. The obtained results demonstrated the possibility of extending the service life and increasing the corrosion resistance of equipment by washing basalt rocks. The article offers suggestions for the use of basalts as thermal insulation materials and ensuring their environmental safety.

Keywords: basalt, thermodynamics, heating, pyroxene, crystal fiber, filtering material, fiber, melting, dry processing.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВОЛОКНИСТЫХ, ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ, ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

**Сатторов Лазиз
Холмуродович**

Доцент, Каршинский
государственный технический
университет,
Карши, Узбекистан

**Курбанов Абдирахим
Ахмедович**

Профессор, Бухарский
инженерно-технологический
институт, Бухара, Узбекистан

**Джураева Хурият
Зоировна**

Преподаватель Экономика-
педагогического университета,
Карши, Узбекистан

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследований влияния внешних факторов на качество перерабатываемых материалов на базальтовых месторождениях «Кызылкум». В ходе экспериментов проводилась механическая очистка и оценка химических свойств образцов базальтовых пород, полученных из трех различных месторождений. Полученные результаты показали возможность продления срока службы и повышения коррозионной стойкости оборудования путем промывки базальтовых пород. В статье представлены предложения по использованию базальтов в качестве теплоизоляционных материалов и обеспечению их экологической безопасности.

Ключевые слова: базальт, термодинамика, нагрев, пироксен, кристаллическое волокно, фильтрующий материал, волокно, разжижение, сухая обработка.

TOLALI, ISSIQLIK O‘TKAZMAYDIGAN, FILTRLOVCHI MATERIALLAR VA TEXNIK MAHSULOTLAR ISHLAB CHIQRISH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH

*Sattorov Laziz
Xolmurodovich*

*Qarshi davlat texnika universiteti
dotsenti, Qarshi, O‘zbekiston*

*Kurbanov Abdiraxim
Axmedovich*

*Buxoro muhandislik-texnologiya
instituti professori,
Buxoro, O‘zbekiston*

*Juraeva Huriyat
Zoirovna*

*Iqtisodiyot va pedagogika
universiteti o‘qituvchisi,
Qarshi, O‘zbekiston*

Annotatsiya. Ushbu maqolada “Qizilqum” bazalt konlarida qayta ishlangan materiallarning sifatiga tashqi omillar ta’sirini tadqiq etish natijalari keltirilgan. Eksperimentlar davomida uchta turli konlardan olingan bazalt jinslari namunalarini mexanik tozalash va kimyoviy xususiyatlarini baholash amalga oshirildi. Olingan natijalar, bazalt jinslarini yuvish orqali uskunalarning xizmat muddatini uzaytirish va korroziyaga chidamliligini oshirish imkoniyatlarini ko‘rsatdi. Maqolada bazaltlarning termal izolatsiya materiallari sifatida qo‘llanishi va ekologik xavfsizligini ta’minlashga doir takliflar berilgan.

Kalit so‘zlar: bazalt, termodinamika, qizdirish, piroksen, kristall tola, filtrllovchi material, tola, suyuqlantirish, quruq ishlov berish.

Introduction. It is known that basalt rock, due to its specific nature, forms a complex structure. The structure of basalt consists of numerous chemical elements that can form pyroxene, olivine, and plagioclase silicates during its processing. These silicates form the basis of the rock's mineralogical and chemical composition. This indicates that the basalt structure can significantly influence the processing method. Consequently, changes in the ratio of basalt's constituent chemical elements can dictate its further use and guide the development of a specific technology for processing this rock. Given the composition of basalts (from the deposits under consideration in the Kyzylkum), we deemed it expedient to develop a technology for processing the rock and design appropriate equipment for this purpose.

The results of theoretical research on specific aspects related to basalt, its processing, and the theoretical analysis of the behavior of products obtained from basalt rock serve as confirmation of this. The results of theoretical research on specific aspects related to basalt, its processing, and the theoretical analysis of the behavior of products obtained from basalt rock serve as confirmation of this.1

Basalt is a magmatic rock. Magmatic, or igneous, rocks are the products of solidified magma - the molten substance of the Earth. Depending on the composition of the original magma, its cooling

conditions, and various factors related to its movement and interaction with surrounding rocks, magmatic rocks of diverse compositions and structures are formed.

Intrusive (deep) and extrusive (effusive) igneous rocks are distinguished. Intrusive rocks are formed in the Earth's interior. Here, the process of magma cooling and rock crystallization proceeds slowly, under high pressure and more favorable conditions, ensuring a fully crystalline structure. The intrusive rocks formed in this way will be completely crystallized. Extrusive rocks, which form closer to and on the Earth's surface, do not have time to fully crystallize before solidification, and therefore have an incompletely crystalline and glassy structure.

The degree of acidity plays an important role for igneous rocks. In deep ultrabasic rocks (olivinites and peridotites), the main mineral is olivine. The deep formation of these rocks is evidenced by the fact that their xenoliths are carried from deep (including mantle) centers of origin during volcanic eruptions and the formation of kimberlite explosion pipes. Two polymorphs of the same composition are known - olivine (Mg, Fe)₂(SiO₄) and "spinel" (Mg, Fe)₂SiO₄; possibly, the second modification exists even deeper in the mantle as a denser form. In basic, intermediate, and acidic rocks, isolated silicates play the role of accessory minerals - these include some garnets,

zircon, and titanite. In granite pegmatites, perfect crystals of topaz are formed. In alkaline rocks, specifically in varieties containing nepheline, isolated silicates are characteristic minerals. These include zircon, titanite, rinkolite, and lamprophyllite.

The production of cast products based on basalts for various purposes utilizes igneous rocks: diabases, basalts, and their varieties such as pyroxenes, olivines, plagioclases, etc. Basalt-like igneous rocks have their own characteristics.

For instance, plagioclases enhance the crystallization ability of the melt but simultaneously raise its melting point. Olivine and pyroxene minerals improve the casting properties of the material, yet they also increase the brittleness of the final products and elevate the melting temperature. To reduce the melting temperature, fluxing agents such as 3% fluorspar are added to the mixture. To promote crystallization during the cooling of the melt, refractory materials like magnesite, chromite, and chromite ore are introduced — these act as crystallization nuclei (seeds). Zinc oxide, at a concentration of about 0.8%, is used to bleach the melt. Before being loaded into the furnace, the raw materials are crushed, sieved, and proportioned according to the required composition.

Smelting is carried out in shaft, bath, rotary, or electric furnaces, with bath furnaces being the most widely used. The melting temperature typically ranges from 1400 to 1500°C. During continuous casting, the molten material flows into storage tanks, where a reserve of homogeneous melt is maintained at 1180–1250°C. Cooling the melt before pouring into molds is essential for proper structural formation and to minimize shrinkage defects such as cracks or cavities. The melt is then poured into clay, metal, or silicate molds preheated to 600–700°C and allowed to cool gradually. Afterward, the products are annealed (slow-cooled), generally in tunnel or chamber furnaces at 800–900°C or in specialized annealing furnaces. This slow cooling increases ductility, relieves internal thermal stresses from cooling and crystallization, and improves resistance to mechanical impact.

A gradual decrease in temperature promotes the separation of the crystalline phase from the melt. Mineralizers added to the batch accelerate crystallization, while careful temperature control

regulates the degree of crystallinity in the stone-cast material. The crystallization process can be further influenced by applying electric or magnetic fields, introducing vibration, or exposing the melt to X-rays or radioactive radiation.

When basalt melts are cooled to around 1250°C, small octahedral magnetite crystals start to form, clarifying nearby regions of the glassy matrix and encouraging further spontaneous crystallization. At 1200°C, isolated feldspar crystals of the plagioclase type appear. Around 1150°C, the number of plagioclase crystallization centers increases sharply, forming a fine network of tiny intergrown crystals. As the temperature drops further to about 1100°C, pyroxene crystals begin to form alongside continued separation of magnesite and plagioclase. The main minerals in cast stone include pyroxenes, plagioclases, olivine, magnetite, and others. The resulting cast stone products — such as pipes and tiles — possess a uniform fine-crystalline texture.

Their compressive strength ranges between 250 and 400 MPa. These materials exhibit high hardness, frost resistance, and acid resistance, which result from their high density (2900–3000 kg/m³) and very low porosity (1.0–1.5%) with closed pores. The wear rate of products made from stone diabase, granite, or cast stone is approximately 0.7 g/cm², which is 2–5 times lower than that of basalt.

Stone-cast materials are widely applied for lining bunkers, chutes, and flotation machine housings, among other uses. Stone-cast tiles effectively replace metal flooring in workshops exposed to aggressive environments and are also used in industrial floors and road construction. In chemical plants, stone casting is utilized as lining for etching baths and sedimentation tanks.

Production based on stone casting can follow two approaches. In the first, a refractory filler is combined with the molten material, molded, and - if necessary - pressed before being cooled to ambient temperature. In the second approach, the filler is mixed with cold, finely dispersed raw materials in a liquid medium. The molded pieces then undergo heat treatment, during which part of the material melts and, upon cooling, forms a glass-crystalline structure with cementing properties. This process stabilizes both the micro- and macrostructure of the stone-casting-based composite.

The use of basalt casting at chemical and coke-chemical enterprises allows for lining the housings and traps of reaction tower equipment, coke ramps, settling tanks for generated acid, coils, distillation boilers, etching baths, acid pipelines, filters, liquid and oil collectors, tanks, mixers, cisterns, sinks, buckets, and exhaust systems for vapors, etc.

As mentioned above, basalt casting does not react chemically with aggressive environments, water of any quality, and consequently, possesses anti-corrosion properties. As a result, the petrological process laid the foundation for the development of petrological production worldwide. In all existing petrological industries, furnaces of similar design are employed, and natural gas serves as the primary fuel. This preference can be attributed to the fact that all high-calorific fuels — including fuel oil, coke, and natural gas — produce combustion products with nearly the same enthalpy when burned with a theoretical air supply, approximately 3500–3750 kJ/m³. Thus, under neutral combustion conditions, these fuels are considered to be energetically equivalent.

Basalt casting is also widely used in the mining sector of the national economy. Basalt is used to line drainage channels, troughs, funnels, chutes, classifiers, and other equipment. The use of basalt extends the service life of the aforementioned objects to up to 20 years, compared to 6-10 months when using metal materials. Manufactured basalt pipes can function underwater for up to 100 years without repairs. In cases where repair or restoration work is needed, the welding process does not require electrodes, as the basalt crack itself is sealed by melting the crack.

Primarily in the metallurgical and coal industries, basalt materials are used for lining coke funnels and bunkers. The application of basalt materials in the metallurgical industry reduces equipment wear by an average of 22.5%. In the coal industry, basalt casting is used to line separators, jiggling machines, bunkers, pipelines, and other equipment. Basalt materials are effectively used for lining concentrate bunkers of scraper conveyors, screen rollers, and thickening funnels.

Currently, the technology for producing basalt fiber is of great practical and scientific interest. Basalt superfine fibers are in especially high

demand in the national economy. The production technology for consists of the following processes:

1. Loading crushed basalt rock into the furnace;
2. Melting the basalt and homogenizing the melt in the furnace;
3. Extracting the basalt melt from the furnace feeder through a spinneret in the form of primary fibers;
4. Blowing the primary fibers into staple superfine fibers using a blowing torch;
5. Forming the mat on the receiving conveyor.

Results. Analysis showed that the technological process of production includes two relatively energy-intensive processes: basalt melting and blowing of primary fibers with a high-temperature flow. The latest developments by the company's specialists have made it possible to improve the production process and develop a new generation of low energy consumption installations.

Figure 1. shows the technological scheme for producing basalt fiber. Unlike the process of obtaining products in cast form through petrological production, in this case, after the melt is formed, the liquid basalt is directed to a spinneret, where the melt is transformed into a stream of fibers.

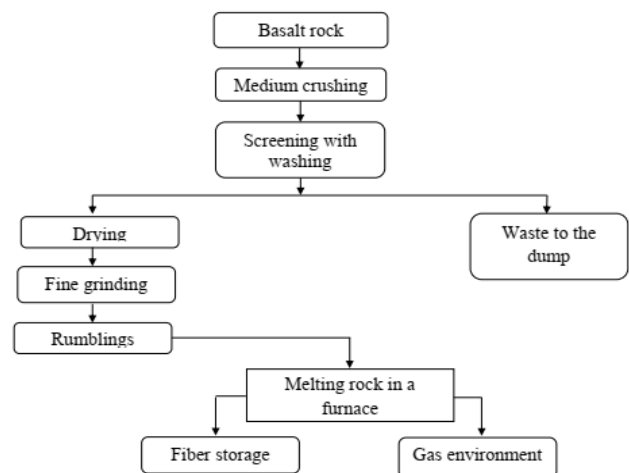


Fig.1. Technological scheme for the production of basalt fibers and fibrous thermal insulation materials.

Furthermore, a blowing apparatus has been added to the technological process, operating with the same hot air supplied under a pressure of 1-2 atm to support the flow of fuel gas entering the furnace. The process proceeds as follows. According to the

proposed technology, the most effective method for carrying out the work is the process of obtaining basalt fiber according to the following plan:

- medium crushing is performed;
- screening of basalts with washing and removal of sludge;
- drying the product and obtaining granules with sizes ranging from 5 to 6 mm;
- preparing the furnace for operation, heating it to 800°C;
- feeding the basalt product into the furnace;
- preparing the melt to a temperature of 1400-1450°C;
- formation of continuous primary fibers using a spinneret feeder;
- blowing of primary fibers into secondary fibers;
- formation of the fibrous mat on the receiving drum.

The production of basalt thermal insulation material using this equipment involves 4 people: one operator, an equipment technician, an electrician, and a mechanical fitter. Basalt that has undergone initial processing enters a stone-melting furnace, where it is held until it reaches a fully liquid state. Afterward, the molten basalt from the furnace is transferred to a preheated bushing designed for preparing and drawing out the melt. Then, the melt from the bushing enters the bushing feeder to form the primary stream.

Heat-resistant spinnerets are designed for producing coarse, fine, and ultra-fine glass staple fibers from rocks according to TU 88023022-96 at temperatures up to 1350-1550°C [1.3.]. The spinneret plate is made of a heat-resistant alloy. Heat-resistant plates are manufactured in sizes of 290x90x12 mm and 420x80x12 mm.

Note that the streams from the combustion chamber are fed to the blowing head (in the blowing

chamber), where a high-speed stream of compressed air pulls them into the fibers using the gravity of the fiber itself (of a certain diameter).

The produced fiber is deposited onto a conveyor and transported towards the receiving drum, where it is wound into rolls using an established technique. To eliminate excess impurities after the burning process, a chimney is built into the melting chamber, through which they are released into the open air.

In aggregate, the obtained basalt fibers form glass wool containing a small amount of "kings" (these are parts of the softened melt that do not have time to transform into fibers, have a dark brown hue, and a long-fibrous structure). This method of organizing the processing of basalt rock and production of heat-insulating basalt material improves working conditions, but leads to a reduction in the number of jobs due to the automation of the process.

Observations of the operation of the modernized stone melting furnace, as well as analysis of the basalt rock melting process and the stream of liquid mass extruded from the spinneret, allowed for measurements of energy resource consumption and melting time. These measurements were then used to conduct a comparative analysis with the results obtained from theoretical computer calculations.

Conclusion. The results demonstrated that by achieving the required temperature within 7÷8 hours through the modernization of existing furnaces (as opposed to 10÷12 hours in basalt processing plants), it is possible to reduce production costs by 30%, thereby increasing labor productivity and lowering the cost of thermal insulation materials. The developed computer program is protected by a certificate from the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan.

REFERENCES

- [1] Khuzhayorov, B. Kh. (2012). Filtration of inhomogeneous liquids in porous media. Tashkent: Fan.
- [2] Kurbanov, A. A., Sattorov, L. Kh., & Rakhmonov, Zh. Kh. (2009). Calculation of the deflection of filters made of basalt fiber. Certificate of Official Review of the Program for Electronic Calculators, No. DGU 01891.
- [3] Sattorov, L. Kh., Kurbanov, A. A., & Rakhmonov, Zh. Kh. (2015). Processes of filtration of industrial gases from dust through basalt filters. Bulletin of the Tula State University: Automation: Problems, Ideas, Solutions, APIR-20, 205–210.

- [4] Kurbanov, A. A., Normurodov, U. S., & Sattorov, L. Kh. (2013). New in the processing of basalts in Uzbekistan. *Bulletin of the Tula State University: Automation: Problems, Ideas, Solutions, APIR-18*, 127–130.
- [5] Kurbanov, A. A. (2010). Thermodynamics of deformation of basalt during melting. *Mountain Bulletin of Uzbekistan*, 1, 115–117.
- [6] Sattorov, L. Kh., & Kurbanov, A. A. (2015). About the advantages of basalt filter materials. In *International Scientific and Technical Conference “Mining and Metallurgical Complex: Achievements, Problems and Development Trends”* (p. 134). Navoi.
- [7] Kurbanov, A. A., Sattorov, L. Kh., & Turobov, Sh. (2017). Conditions for testing a basalt filter in laboratory and industrial conditions. *Mountain Bulletin of Uzbekistan*, 2, 1.
- [8] Sattorov, L. Kh., & Kurbanov, A. A. (2017). The flexural stiffness and tension state of basalt filter. *RMZ – Materials and Geoenvironment*, 64, 53–62.
- [9] Drobot, N. F., Noskova, O. A., & Steblevskii, A. V. (2013). Use of chemical and metallurgical methods for processing of gabbro–basalt raw material. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 47(4), 484–488.
- [10] Gibadullin, A., & Pulyaeva, V. (2019). *E3S Web of Conferences*, 114, 02002.
- [11] Morkovkin, D., Hutarava, I., Ogloblina, E., Gibadullin, A., & Kharchenko, S. (2020). *E3S Web of Conferences*, 176, 05002.
- [12] Morkovkin, D. E., Lopatkin, D. S., Shushunova, T. N., Sharipov, B. K., & Gibadullin, A. A. (2020). *Journal of Physics: Conference Series*, 1515(3), 032002.
- [13] Panchenko, A., Voloshina, A., Sadullozoda, S. S., Boltyansky, O., & Panina, V. (2022). *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 101–111.
- [14] Ermakova, A. M. (2022). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1045, 012123.
- [15] Kovshov, V. A., Zalilova, Z. A., Lukyanova, M. T., & Sagadeeva, E. F. (2021). *Lecture Notes in Networks and Systems*, 205, 595–603.

УДК: 622.736:534.6:669.21:532.135

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.6

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗОЛОТА ИЗ РУДЫ



**Азимов Ойбек
Ахмадович**

Доцент, Навоийский
государственный горный и
технологический университет,
Навои, Узбекистан



**Саттарова Шахло
Гайвилло кизи**

Докторант, Навоийский
государственный горный и
технологический университет,
Навои, Узбекистан



**Нарзуллаев Жахонгир
Норбобо угли**

Доцент, Навоийский
государственный горный и
технологический университет,
Навои, Узбекистан



**Асроров Анвар
Ахрорович**

Доцент, Навоийский
государственный горный и
технологический университет,
Навои, Узбекистан

Аннотация. В статье рассматривается влияние предварительной ультразвуковой обработки (УЗО) на результаты гравитационного обогащения золотосодержащей руды в центробежном концентраторе. В качестве объекта исследования использовалась руда, характеризующаяся наличием тонковкрапленного золота в пирите и высоким содержанием иламующихся минералов. Обогащение проводилось на лабораторном концентраторе «Кнелсон» КС-МД3. Сравнительный анализ классической схемы и схемы с применением 5-минутной УЗО показал, что ультразвуковое воздействие не приводит к улучшению технологических показателей, а вызывает их стабильное снижение. Извлечение золота в объединенный концентрат снизилось с 27,62% до 25,53%, а содержание золота в нем упало с 9,22 г/т до 8,41 г/т. В работе выдвинута гипотеза о комплексных причинах такого влияния, связанных как с ухудшением реологии пульпы, так и с возможным переизмельчением хрупкого золотосодержащего пирита.

Ключевые слова: золото, центробежный концентратор, Кнелсон, гравитационное обогащение, ультразвуковая обработка, тонкое золото, пирит, реология, извлечение.

DASTLABKI ULTRATOVUSHLI ISHLOV BERISHNING RUDADAN OLTINNING MARKAZDAN QOCHMA KONSENTRATSIYASI SAMARADORLIGIGA TA'SIRI

**Azimov Oybek
Akhmadovich**

Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti dotsenti,
Navoiy, O'zbekiston

**Sattarova Shahlo
G'ayvillo qizi**

Doktorant, Navoiy davlat konchilik
va texnologiyalar universiteti,
Navoiy, O'zbekiston

**Narzullayev Jahongir
Norbobo o'g'li**

Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti dotsenti,
Navoiy, O'zbekiston

**Asrorov Anvar
Axrorovich**

Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti dotsenti,
Navoiy, O'zbekiston

Аннотация. Мақоллада марказдан қочма бойитгичда оltin tarkibli rudani gravitatsion boyitish natijalariga dastlabki ultratovushli ishlov berishning ta'siri ko'rib chiqilgan. Tadqiqot obyekti sifatida pirit tarkibida mayda zarrachali oltin mavjudligi va shlamlanuvchi minerallarning yuqori miqdori bilan tavsiflanadigan ma'dandan foydalanilgan. Boyitish "Knelson" KC-MD3 laboratoriya konsentratorida olib borildi. Klassik sxema va 5 daqiqalik UTT qo'llanilgan sxemaning qiyosiy tahlili shuni ko'rsatdiki, ultratovush ta'siri texnologik ko'rsatkichlarning yaxshilanishiga olib kelmaydi, balki ularning barqaror

pasayishiga sabab bo'ladi. Birlashtirilgan boyitmaga oltinni ajratib olish 27,62% dan 25,53% gacha, undagi oltin miqdori esa 9,22 g/t dan 8,41 g/t gacha kamaydi. Ishda bunday ta'sirning kompleks sabablari, pulpa reologiyasining yomonlashishi va mo'rt oltin tarkibli piritni qayta maydalash bilan bog'liq bo'lgan gipoteza ilgari surilgan.

Kalit so'zlar: oltin, markazdan qochma konsentrator, Knelson, gravitatsion boyitish, ultratovush bilan ishlov berish, yupqa oltin, pirit, reologiya, ajratib olish.

INFLUENCE OF PRELIMINARY ULTRASONIC TREATMENT ON THE EFFECTIVENESS OF CENTRIFUGAL GOLD CONCENTRATION FROM ORE

**Azimov Oybek
Akhmadovich**

Docent, Navoi State Mining and
Technology University,
Navoi, Uzbekistan

**Sattarova Shahlo Gayvilo
kizi**

Doctoral student, Navoi State
Mining and Technology University,
Navoi, Uzbekistan

**Narzullayev Jahongir
Norbobo ugli**

Docent, Navoi State Mining and
Technology University,
Navoi, Uzbekistan

**Asrorov Anvar
Ahrorovich**

Docent, Navoi State Mining and
Technology University,
Navoi, Uzbekistan

Abstract. *The article examines the influence of preliminary ultrasonic treatment (PWT) on the results of gravitational beneficiation of gold-bearing ore in a centrifugal concentrator. As an object of research, ore characterized by the presence of finely dispersed gold in pyrite and a high content of slimy minerals was used. Enrichment was carried out on the "Knelson" KC-MD3 laboratory concentrator. A comparative analysis of the classical circuit and the circuit using 5-minute ultrasound showed that ultrasonic exposure does not lead to improvement of technological indicators, but causes their stable decrease. The extraction of gold into the combined concentrate decreased from 27.62% to 25.53%, and the gold content in it decreased from 9.22 g/t to 8.41 g/t. The work proposes a hypothesis about the complex reasons for this influence, both related to the deterioration of pulp rheology and the possible overgrinding of fragile gold-containing pyrite.*

Keywords: gold, centrifugal concentrator, Knelson, gravitational enrichment, ultrasonic treatment, fine gold, pyrite, rheology, extraction.

Введение. Извлечение тонкого (<50 мкм) и мелкого золота является одной из ключевых задач современной золотодобычи. Потери этого золота при использовании традиционных гравитационных аппаратов, работающих в поле силы тяжести, могут достигать 50% и более [1, с. 188]. Прорыв в этой области был достигнут с разработкой и внедрением центробежных концентраторов (сепараторов), таких как Knelson, Falcon и др. В этих аппаратах пульпа разделяется в поле центробежных сил, в десятки и сотни раз превышающих силу тяжести. Это позволяет создавать условия для эффективного улавливания даже очень мелких и тонких частиц с высокой плотностью, которые в обычных условиях уносятся потоком воды.

Несмотря на высокую эффективность, работа центробежных сепараторов также чувствительна к свойствам питающей пульпы.

Ключевым условием для успешной сепарации является способность тяжелых частиц быстро мигрировать через слой пульпы и закрепляться в улавливающих канавках (рифлях) вращающегося ротора. Этот процесс поддерживается подачей под давлением оживающей воды, которая создает восходящий поток и поддерживает постель в псевдооживленном состоянии.

Любые факторы, препятствующие этому процессу, снижают извлечение. Как и в случае с концентрационными столами, наличие шламовых покрытий на частицах золота и сульфидов, а также высокая вязкость пульпы являются основными негативными факторами. Поэтому применение ультразвуковой обработки (УЗО) перед центробежной концентрацией теоретически выглядит весьма перспективно. Ожидается, что кавитационные процессы

очистят поверхность ценных минералов и дезагрегируют сгустки, подготавливая «идеальную» пульпу для разделения в поле высоких перегрузок [2, с. 83].

Однако, как отмечается в [5], влияние реологии пульпы на центробежную сепарацию имеет свою специфику. Повышенная вязкость не только замедляет осаждение тяжелых частиц, но и нарушает режим псевдооживления, "забивая" постель и препятствуя вытеснению из нее легких минералов. Кроме того, существует риск переизмельчения хрупких сульфидов под действием УЗО, что может привести к образованию ультратонких частиц, не улавливаемых даже в центробежном поле.

Целью данной работы является изучение влияния пятиминутной ультразвуковой обработки на показатели обогащения золото-содержащей руды в лабораторном центробежном концентраторе КС-МДЗ «Кнелсон».

Материалы и методика эксперимента.

Характеристика пробы. В качестве исходного сырья использовалась проба упорная золотосодержащая руда (-2 мм). Минеральный состав характеризуется преобладанием кварца и мусковита, золото ассоциировано с пиритом (1,3%).

Таблица 1.

Минералогический состав упорной золотосодержащей руды

Минерал	Кварц	Анкерит	Мусковит	Альбит	ТiO ₂	Пирит	Хлорит 2b	Анортит	Сидерит	Каолинит
Содержание, %	47,3	3,3	35,4	3,5	0,2	1,4	2,4	0,9	2,4	2,6

Как видно из таблицы 1. образец содержит преимущественно пирит как золотосодержащий минерал.

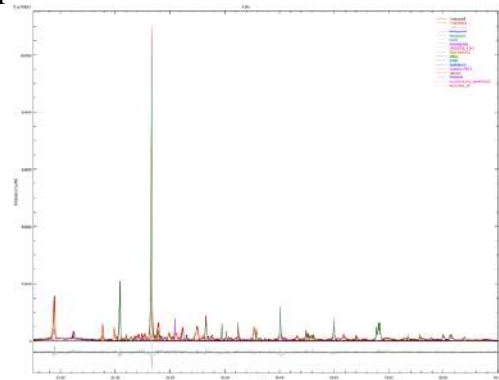


Рис.1. Порошковая дифрактограмма образца.

Данные порошковой рентгеновской дифрактометрии (Рис. 2.1) показали следующий минеральный состав, %: кварц - 46,3; мусковит - 36,4; альбит - 2,5; анкерит - 3,8; каолинит - 2,9; сидерит - 2,6; хлорит 2b - 2,4; пирит - 1,3; анортит - 0,9 и TiO₂ - 0,33.

Проведение эксперимента. Проба руды массой 10 кг была измельчена в стержневой мельнице в течение 54 минут с 6 литрами воды. Более длительное время измельчения по сравнению с опытами для стола (44 мин) было выбрано для лучшего раскрытия тонковкрапленного золота, что является стандартной практикой при подготовке питания для центробежных концентраторов. Полученная пульпа была гомогенизирована и разделена на две идентичные части.

1. Контрольный опыт (классическая схема): Первая часть пульпы была направлена на обогащение в центробежный концентратор КС-МДЗ. Процесс проводился в четыре последовательные стадии: пульпа подавалась в концентратор, отбирался концентрат 1, оставшиеся хвосты снова подавались в аппарат, отбирался концентрат 2, и так далее до получения 4 концентратов и конечных хвостов.

2. Основной опыт (с УЗО): Вторая часть пульпы перед обогащением была обработана ультразвуком в течение 5 минут, после чего процесс обогащения полностью повторял контрольный опыт.

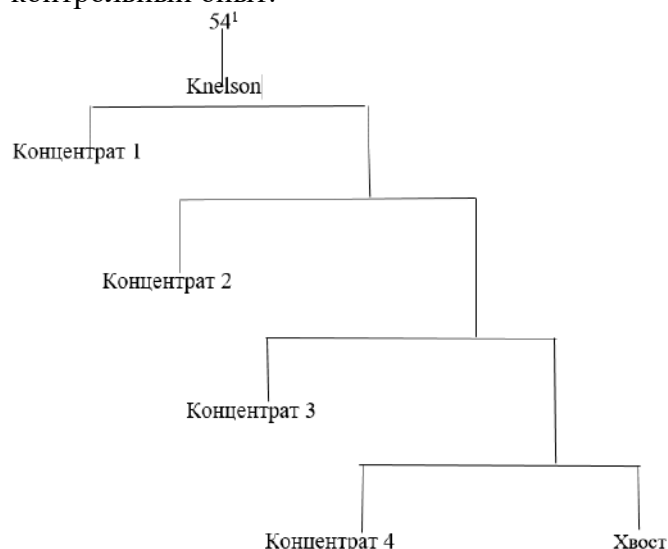


Рис.2. Схема обогащение золотосодержащую руду в центробежном концентраторе.

Режим работы концентратора КС-MD3 был постоянным для обоих опытов: частота вращения ротора – 90 об/мин, расход оживающей воды – 3 л/мин. Все полученные продукты были высушены, взвешены и проанализированы на содержание золота. На основе полученных данных были рассчитаны показатели для объединенного концентрата (сумма продуктов стадий 1-4).

Результаты и их обсуждение. Сводные итоговые показатели, рассчитанные для объединенного концентрата, представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты обогащения упорной золотосодержащей руды в центробежном концентраторе

Показатель	Без УЗО	С УЗО (5 мин)
Выход объединённого концентрата, %	5,22	5,18
Содержание Au в концентрате, г/т	9,22	8,41
Извлечение Au в концентрат, %	27,62	25,53

Результаты показывают, что предварительная УЗО не дала положительного эффекта при обогащении в центробежном концентраторе. Было зафиксировано стабильное снижение всех ключевых показателей: содержание золота в объединенном концентрате уменьшилось на 8,8%, а извлечение снизилось на 2,09%.

Однако стоит отметить, что степень негативного влияния УЗО здесь выражена слабо. Мы связываем это с тем, что высокие перегрузки в центробежном поле способны частично компенсировать негативное влияние повышенной вязкости пульпы, «продавливая» тяжелые частицы к стенке ротора. Тем не менее, полного нивелирования негативного эффекта не происходит.

Можно выделить две вероятные и взаимодополняющие причины такого результата:

1. Ухудшение реологических свойств пульпы: Эта причина аналогична той, что была описана для концентрационного стола. Повышение вязкости пульпы из-за диспергирования глин и слюд нарушает работу концентратора. Оно не только замедляет осаждение частиц пирита, но и препятствует нормальной работе системы псевдооживления.

Вязкая пульпа «глушит» восходящий поток воды в рифлях, постель уплотняется и перестает эффективно обмениваться частицами с проходящим потоком, что снижает и извлечение, и качество концентрата.

2. Переизмельчение ценного минерала: Пирит, являясь хрупким сульфидом, может подвергаться разрушению под действием кавитации, особенно по микротрещинам. Учитывая, что золото в руде ассоциировано именно с пиритом, его переизмельчение приводит к образованию ультратонких (<10-15 мкм) золотосодержащих частиц. Такие частицы имеют огромное поверхностное трение по отношению к своей массе и могут уноситься потоком воды даже из поля высоких центробежных сил, что ведет к прямым потерям золота.

Вероятно, оба этих механизма действуют одновременно, обуславливая наблюдаемое снижение технологических показателей.

Заключение и перспективы:

1. Экспериментально установлено, что пятиминутная ультразвуковая обработка пульпы золотосодержащей руды перед центробежной концентрацией в аппарате «Кнелсон» не является эффективной мерой интенсификации и приводит к стабильному снижению показателей обогащения.

2. Снижение извлечения золота (с 27,62% до 25,53%) и качества концентрата (с 9,22 г/т до 8,41 г/т), вероятно, является следствием комплексного влияния УЗО: ухудшения реологических свойств пульпы из-за диспергации глин и возможного переизмельчения хрупкого золотосодержащего пирита.

3. Результаты подчеркивают критическую важность учета минералогического состава руды и физико-механических свойств минералов при выборе методов интенсификации. Для руд с высоким содержанием шламуемых минералов и хрупких сульфидов применение УЗО требует крайне осторожного подхода.

4. Для дальнейших исследований целесообразно изучить возможность применения УЗО в более «мягких» режимах (меньшая мощность, время) и рассмотреть ее применение не до, а между стадиями центробежной концентрации для обработки промежуточных


продуктов.

|

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Петров, В. И. (2018). Основы обогащения полезных ископаемых. Москва: Недра.
- [2] Сидоров, А. П., & Козлов, Е. Н. (2020). Применение ультразвука для интенсификации процессов флотации и гравитации. Горный журнал, (5), 80–85.
- [3] Zhang, F., & Liu, G. (2019). Enhancement of gold recovery from quartz ores by ultrasonic pre-treatment. Minerals Engineering, 138, 112–118.
- [4] Kuznetsov, V. D., & Ivanov, S. M. (2021). The influence of pulp rheology on gravity separation of complex ores. International Journal of Mineral Processing, 195, 106321.
- [5] Laplante, A. R., & Gray, S. (2018). The effect of viscosity on the performance of centrifugal concentrators. In Proceedings of the XXIX International Mineral Processing Congress. Moscow.

УДК: 622.765:669.28:669.35:628.4

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ, ЖЕЛЕЗО И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ОБОЖЕННОГО МОЛИБДЕНОВОГО ПРОМПРОДУКТА



**Вохидов Бахриддин
Рахмидинович**

Доктор технических наук,
профессор Навоийского
государственного горно-
технологического университета,
Навои, Узбекистан
E-mail:
bakhriddin.vokhidov@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-0819-6752



**Рустамов Исломжон
Илхомович**

Помощник ректора
Университета информационных
технологий и менеджмента,
Ташкент, Узбекистан



**Рахимов Махмуджон
Муроджонович**

Начальник отдела
Министерства
горнодобывающей
промышленности и геологии,
Ташкент, Узбекистан



**Азимов Ойбек
Ахмадович**

Доцент Навоийского
государственного горно-
технологического университета,
Навои, Узбекистан

Аннотация. Представлены результаты извлечения железа, меди и благородных металлов из твёрдых отходов (кеков) содового выщелачивания обожжённого молибденового промпродукта. По данным ИСП-спектроскопии и РФА кек содержит Mo, Re, Cu, Fe и др.; установлены фазы $Fe(OH)_3 \cdot nH_2O$, MoO_2/MoO_3 , MoS_2 , а также молибдатные соединения ($CuMoO_4$, $ZnMoO_4$, $CaMoO_4$, $PbMoO_4$, $Fe_2(MoO_4)_3$). Кек мелкодисперсен (до 95% < 0,074 мм), с удельным весом ~1,33 т/м³ и слабыми магнитными свойствами, обусловленными гидратированными оксидами железа. Разработана и апробирована схема мокрой магнитной сепарации с поэтапным повышением магнитной индукции, добавлением 0,5–0,8% магнетитовых частиц (для подмагничивания слабомагнитных зерен) и ~1 г/т полиакриламида. Получен магнитный концентрат с содержанием Fe 26–27% при снижении Cu до ~0,05% и Mo до ~0,2%; немагнитная фракция обогащена Mo (~5,2%) и Cu (~2,4%) и направляется на последующую гидрометаллургическую переработку (извлечение меди и благородных металлов). Материальный баланс и испытания показали технологическую реализуемость и селективность предлагаемого подхода для комплексной утилизации кеков выщелачивания.

Ключевые слова: обожжённый молибденовый промпродукт, содовое выщелачивание, кек, мокрая магнитная сепарация, магнетитовые частицы, полиакриламид, железный концентрат, немагнитная фракция, извлечение меди, благородные металлы, комплексная переработка.

KUYDIRILGAN MOLIBDEN ORALIQ MAHSULOTINI TANLAB ERITISHNING QATTIQ CHIQINDILARIDAN MIS, TEMIR VA QIMMATBAHO METALLARNI AJRATIB OLISHNI TADQIQ QILISH

Voxidov Baxriddin
Raxmidinovich

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

Rustamov Islomjon
Ilhomovich

Rektor yordamchisi, Axborot texnologiyalari va menejment universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Raximov Maxmudjon
Murodjonovich

Tog'-kon sanoati va geologiya vazirligi bo'lim boshlig'i, Toshkent, O'zbekiston

Azimov Oybek
Axmadovich

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti dotsenti, Navoiy, O'zbekiston

Annotatsiya: Kuydirilgan molibden oraliq mahsulotini sodali tanlab eritishning qattiq chiqindilari (keklar) dan temir, mis va qimmatbaho metallarni ajratib olish natijalari keltirilgan. IQ-spektroskopiya va RFA ma'lumotlariga ko'ra, kek tarkibida Mo, Re, Cu, Fe va boshqalar mavjud; $Fe(OH)_3 \cdot nH_2O$, MoO_2/MoO_3 , MoS_2 fazalari, shuningdek, molibdat birikmalari ($CuMoO_4$, $ZnMoO_4$, $CaMoO_4$, $PbMoO_4$, $Fe_2(MoO_4)_3$) aniqlangan. Kek mayda dispers ($95\% < 0,074$ mm gacha), solishtirma og'irligi $\sim 1,33$ t/m³ va gidratlangan temir oksidlari tufayli kuchsiz magnit xususiyatlarga ega. Magnit induksiyasini bosqichma-bosqich oshirib, 0,5-0,8% magnetit zarrachalari (kuchsiz magnitlangan zarrachalarni magnitlash uchun) va ~ 1 g/t poliakrilamid qo'shib nam magnitli separatsiyalash sxemasi ishlab chiqildi va sinovdan o'tkazildi. Tarkibida Fe 26-27% bo'lgan magnit konsentrati olindi, bunda Cu $\sim 0,05\%$ gacha va Mo $\sim 0,2\%$ gacha kamaytirildi; nomagnit fraksiya Mo ($\sim 5,2\%$) va Cu ($\sim 2,4\%$) bilan boyitildi va keyingi gidrometallurgik qayta ishlashga (mis va nodir metallarni ajratib olish) yuborildi. Moddiy balans va sinovlar tanlab eritish keklarini kompleks utilizatsiya qilish uchun taklif etilayotgan yondashuvning texnologik amalga oshirilishi va selektivligini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: kuydirilgan molibden oraliq mahsuloti, sodali tanlab eritish, kek, nam magnitli separatsiya, magnetit zarralari, poliakrilamid, temir konsentrati, nomagnit fraksiya, misni ajratib olish, nodir metallar, kompleks qayta ishlash.

**STUDY OF EXTRACTION OF COPPER, IRON AND NOBLE METALS FROM
SOLID WASTE OF LEACHING OF CALCINED MOLYBDENUM
INTERMEDIATE PRODUCT**

Vokhidov Baxriddin
Rakhmidinovich

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

Rustamov Islomjon
Ilkhomovich

Assistant Rector, University of Information Technologies and Management, Tashkent, Uzbekistan

Rakhimov Makhmudjon
Murodjonovich

Head of Department of the Ministry of Mining Industry and Geology, Tashkent, Uzbekistan

Azimov Oybek
Akhmadovich

Docent of the Navoi State Mining and Technological University, Navoi, Uzbekistan

Abstract. The results of the extraction of iron, copper, and precious metals from solid waste (cakes) of soda leaching of calcined molybdenum intermediate product are presented. According to IR spectroscopy and RFA data, the cake contains Mo, Re, Cu, Fe, etc.; $Fe(OH)_3 \cdot nH_2O$, MoO_2/MoO_3 , MoS_2 phases, as well as molybdate compounds ($CuMoO_4$, $ZnMoO_4$, $CaMoO_4$, $PbMoO_4$, $Fe_2(MoO_4)_3$) were identified. The cake is finely dispersed (up to $95\% < 0.074$ mm), has a specific gravity of ~ 1.33 t/m³, and weak magnetic properties due to hydrated iron oxides. A scheme of wet magnetic separation with a gradual increase in magnetic induction with the addition of 0.5-0.8% of magnetite particles (for magnetization of weakly magnetized particles) and ~ 1 g/t of polyacrylamide was developed and tested. A magnetic concentrate with a Fe content of 26-27% was obtained, in which Cu was reduced to $\sim 0.05\%$ and Mo to $\sim 0.2\%$; the non-magnetic fraction was enriched with Mo ($\sim 5.2\%$) and Cu ($\sim 2.4\%$) and sent for further hydrometallurgical processing (extraction of copper and rare metals). Material balance and tests have shown the technological feasibility and selectivity of the proposed approach to the integrated disposal of leaching cakes.

Keywords: calcined molybdenum intermediate, soda leaching, cake, wet magnetic separation, magnetite particles, polyacrylamide, iron concentrate, non-magnetic fraction, copper extraction, rare metals, complex processing.

Введение. В современных условиях интенсификации цветной металлургии и роста объёмов переработки молибденсодержащего сырья особое значение приобретает проблема рационального использования отходов производства. В процессе содового выщелачивания обожжённого молибденового продукта образуются твёрдые остатки — кеки, содержащие значительное количество ценных компонентов: железо, медь, рений, а также благородные металлы (золото и серебро). Традиционно такие отходы рассматриваются как малоперспективные для вторичной переработки, однако современные аналитические и технологические методы позволяют рассматривать их как важный источник редких и цветных металлов.

Одной из актуальных задач является разработка эффективных способов селективного извлечения железа, меди и благородных металлов из твёрдых остатков выщелачивания, обеспечивающих комплексную переработку сырья и снижение экологической нагрузки на окружающую среду. Особый интерес представляет применение **мокрой магнитной сепарации** с добавлением магнетитовых частиц и флокулянтов, что позволяет разделять фазы по магнитным свойствам и концентрации железосодержащих соединений.

В настоящей работе рассматриваются результаты исследований по определению состава кеков, изучению их физико-химических свойств и разработке технологической схемы извлечения железа, меди и благородных металлов. Полученные данные служат основой для совершенствования процессов вторичной переработки отходов молибденового производства и повышения комплексности использования минеральных ресурсов.

Материалы и методы. При содовом выщелачивании обожжённого молибденового промпродукта образуется кек, в котором содержится Mo, Re, Fe, Cu, Au, Ag и твёрдая часть невыщелаченного огарка.

Анализами ИСП — спектроскопии установлено, что кек содержит (в, %): 33,98 Mo, (в т.ч. 2,1 окисленного и 2,7 сульфидного); 1,2 Cu; 0,03 Re; 0,24 W, а также 9,5 Fe; 4,3 SiO₂; следы As, P; и 42 (и выше) влаги.

Результатами рентгенофазовых анализов определены формы нахождения основных компонентов в кеке: Fe(OH)₃•30H₂O, MoO₂, MoO₃, MoS₂, CuMoO₄, ZnMoO₄, CaMoO₄, PbMoO₄, Fe₂(MoO₄)₃, а также адсорбированные на гидроксиде железа формы меди, молибдена, вольфрама.

Исследованиями установлено, что кек имеет слабые магнитные свойства и удельный вес составляет 1,33 т/м³. Данные свойства кека использованы для разработки технологии извлечения железа методом мокрой магнитной сепарации в сочетании гравитационным обогащением [1; с. 417].

Магнитная сепарация — сепарация двух материалов, основанная на их разделении по магнитным свойствам [2]. Кроме магнитных сил, на частицы действуют сила тяжести и силы выталкивания и сопротивления среды, в которую помещаются зерна (ее плотность, вязкость, смачиваемость, степень турбулизации потока и др.). Результат взаимодействия указанных сил предопределяет различный характер движения частиц, что позволяет произвести их разделение. Материалы с высокой магнитной восприимчивостью при магнитном воздействии отделяются от немагнитных и слабо магнитных частиц.

Для того чтобы разделить смесь материалов, различающихся по магнитным свойствам, должны одновременно соблюдаться следующие условия: а) магнитная сила, действующая на сильно магнитные материалы, должна быть равна или больше равнодействующей всех механических сил, действующих на эти минералы в направлении, противоположном магнитной силе; б) магнитная сила, действующая на слабо магнитные материалы, должна быть меньше равнодействующей всех механических сил, действующих на эти минералы [3; с. 400].

Разделение материала в магнитном поле под влиянием магнитных и механических сил осуществляется в режиме извлечения магнитных материалов (нижнее питание) или в режиме их удерживания (верхнее питание). Средой, в которой осуществляется разделение материалов, может быть воздух или вода. В соответствии с этим процесс называется мокрой

или сухой магнитной сепарацией.

На магнитную частицу действуют следующие силы (отнесенные к зерну массой, равной единице):

1) магнитная сила, нормальная к поверхности барабана,

2) сила трения руды на плоскость $f_{тр}$ (магнитные частицы под воздействием $F_{магн}$ отрываются от наклонной плоскости, поэтому для них $f_{тр}=0$); 3) сила инерции $F_{ц}$, возникающая за счет кривизны питающего лотка. Влияние последней силы на процесс разделения незначительно и ею можно пренебречь. Обозначим: t_1 - время, за которое частица пройдет длину зоны притяжения L ; t_2 - время, за которое частица поднимется на высоту зоны притяжения h . Если частица поступает в рабочую зону с начальной скоростью V_0 , путь L , который за время t_1 пройдет частица [4; с. 113]. Одновременно магнитная частица должна переместиться в направлении к полюсу на расстояние.

Режим удерживания. В этом случае руда подается в верхнюю часть барабана и перемещение ее через рабочую зону сепаратора происходит по криволинейной траектории. На магнитное зерно при разделении в воздушной среде действуют следующие силы (отнесенные к зерну массой, равной единице):

1) магнитная сила, нормальная к поверхности барабана

$$F_{магн} = \mu_0 \chi H \sin \alpha \quad (1)$$

2) сила тяжести $f_m = g$, имеющая две составляющие: нормальную к поверхности барабана $f_n = g \cos \alpha$ и касательную к этой поверхности $f_t = g \sin \alpha$,

3) центробежная сила, нормальная к поверхности барабана $F_{ц} = v^2/R$,

Необходимая удельная магнитная сила для удерживания магнитных минералов, содержание которых в руде $\alpha_m = 0,3 \pm 0,9$,

Таким образом, основными механическими силами, определяющими удельную магнитную силу при сепарации в режиме удерживания, являются центробежная сила и сила тяжести зерна, причем при значениях угла α от 0 до 90° последняя уменьшает необходимую магнитную силу [5; с. 404].

В зависимости от направления пере-

мещения продуктов относительно друг друга различают следующие режимы сепарации:

прямоточный - продукты сепарации движутся в том же направлении, что и исходная руда; противоточный - магнитная фракция движется в направлении, противоположном направлению движения исходной руды;

полупротивоточный - исходная руда, направляемая на магнит, разделяется на магнитную и немагнитную фракции, отклоняющиеся под прямыми углами в разные стороны.

Условия разделения при прямоточном режиме не обеспечивают полного извлечения магнитных зерен, поскольку слабомагнитные зерна, притягиваемые магнитом с меньшей скоростью, должны притягиваться к уже образовавшемуся на нем слою сильно магнитных зерен и в связи с этим возрастает вероятность их отрыва и попадания в немагнитный продукт [6; с. 132-140].

Противоточный режим обеспечивает более благоприятные условия для извлечения магнитных зерен, так как слабо магнитные зерна могут притягиваться к поверхности магнита, свободной от сильно магнитных зерен.

При полупротивоточном режиме направление движения исходного питания совпадает с направлением магнитных сил, действующих на магнитные частицы, вследствие этого облегчается их извлечение.

Несмотря на конструктивные отличия магнитных систем и других узлов, все сепараторы делятся на две группы:

1) сепараторы со слабым магнитным полем (напряженность магнитного поля от 70 до 120 кА/м и сила поля от $3 \cdot 10^5$ до $6 \cdot 10^5$ кА²/м³), предназначенные для выделения из руд сильномагнитных минералов;

2) сепараторы с сильным магнитным полем (напряженность магнитного поля от 800 до 1600 кА/м и сила поля от $3 \cdot 10^7$ до $1210 \cdot 10^7$ кА²/м³), предназначенные для выделения из руд слабомагнитных минералов. Сепарация может осуществляться в воздушной или водной среде и магнитные сепараторы, в свою очередь, подразделяются на сухие и мокрые.

Из литературных данных [7]. известен, способ мокрого магнитного обогащения слабо-

магнитных тонко вкрапленных железо содержащих руд, заключающейся магнитной гидросепарации измельченной исходной руды с добавлением сильномагнитных частиц через целевые магнитные системы с пересечением частицами магнитных силовых линий для подмагничивания слабомагнитных частиц руды. В измельченной исходной руде поддерживают концентрацию сильномагнитных магнетитовых частиц, достаточную для флокуляции ими слабомагнитных частиц.

Для извлечения железа из кека выщелачивания обожженного молибденового продукта исследована мокрая магнитная сепарация с добавлением в исходную пробу магнетитовых частиц. Процесс магнитного разделения включает многостадийную магнитную сепарацию при периодическом увеличении поля магнитной индукции от 0,085 до 0,11 Тесла с добавлением магнетитовых частиц в количестве 0,5% к массе сухого материала класса крупности -0,4+0,2мм и поли акриламида концентрации 1,0 г/т сухого материала.

Установлены, что кеки выщелачивания благодаря из-за значительного содержания в них гидратированных оксидов железа имеют слабо магнитные свойства. Высушенный кек является мелкодисперсным материалом, имеющим до 95,0 % крупностью фракции – 0,074 мм и с удельным весом 1,33 т/м³. Эти физические характеристики использованы для отделения железа из состава кека выщелачивания методом магнитного сепарации.

Результаты и обсуждение. Эксперименты мокрой магнитной сепарации кека выщелачивания проводились на лабораторном магнитном сепараторе, в следующей последовательности : из пульпы кека состава (в %): 32,8-Мо; 1,2-Cu; 0,03-Re; 9,5-Fe; 4,3-SiO₂; 2,58-CaO; следы As, P, Sb. Из кека фильтрацией отделен раствор; кек промыли водой, остаточная влажность кека составил 42,0%; материалу добавлена по сухому весу 0,8% магнетита и 1.2 г/т полиакриламида; из полученной смеси приготовлена пульпа в соотношении Т:Ж=1:1; приготовленная смесь подавался к магнитной сепарации в непрерывном режиме с производительностью 2,0; 4,0; 6,0 литров в минуту, при этом напряженность магнитного

поля составляло 1600 -17000 эрстед.

Таблица 1.

Результаты экспериментов мокрой магнитной сепарации кека

Пробы	Наименование продукта	Fe, %	Cu, %	Mo, %	Удельный вес, т/м ³
1.	Исходный кек	9,5	1,2	4,8	1,33
2.	Магнитная фракция	26,9	0,05	0,2	1,24
3.	Отмагниченная фракция	1,8	2,4	5,2	1,41

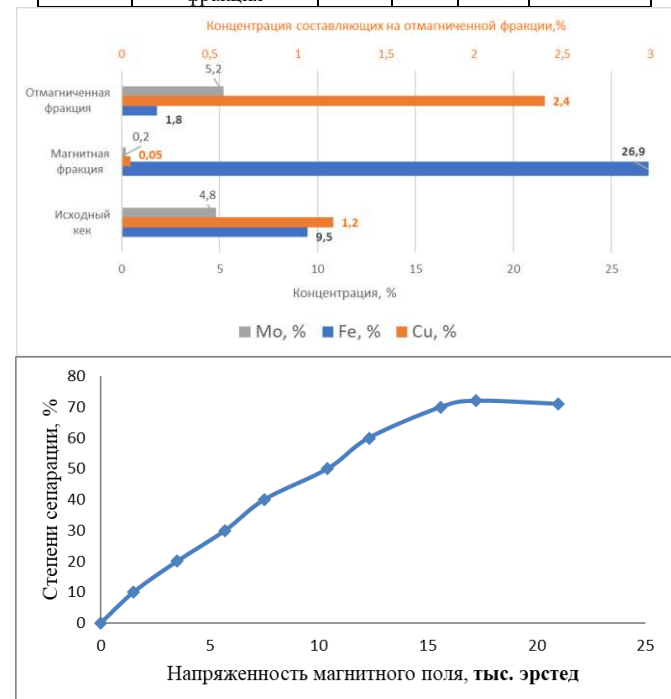


Рис.1. Зависимость степени сепарации от напряженности магнитного поля.

В результате экспериментов получена отмагниченная фракция (концентрат) содержащий до 26,6% железа. Полученный железный концентрат глубоким отстоем под воздействием ПАВ –полиакриламида отделился из раствора фильтрацией, осветленный раствор направлялся на переработку для извлечения меди. Немагнитная фракция (хвосты) содержит в (%): 5,2-Мо; 2,4-Cu; 0,011-Re; 0,4-W.

На магнитную сепарацию подают 300 мл в минуту пульпа кека при Т:Ж=1:2. Из 1000,0 гр. кека получен 30 гр. отмагниченный продукт, остальное и 70 гр. перешло в кек в хвостовой пульпе 200 мл.

В результате экспериментов получена отмагниченная фракция (концентрат) содержащий до 26,6 % железо. Полученный железный концентрат глубоким отстоем под воздействием

ПАВ – полиакриламида отделился из раствора, осветленный раствор направлялся на переработку для извлечения меди.

Таблица 2.

Материальный баланс мокрой магнитной сепарации кека

Приход		Расход	
Статья прихода	Количество	Статья расхода	Количество
Кек выщелачивания	3000 мл	Отмагниченная продукция	1000 мл
	1000 гр		300гр.
Итого	3000 мл	Хвост	2000 мл
	1000 гр		700 гр
			3000 мл
			1000 гр.

Немагнитная фракция (хвосты) содержит в (%): 5,2 Mo; 2,4 Cu; 0,011Re; 0,4W. Полученный кек после магнитной сепарации имеет усредненный химический состав (в %): Mo-33,98; Cu-2,51; SiO₂-21,05; Fe-,73; WO₃-необ., P-0,012; As-0,015; Re-0,011; MoS₂- 0,63; Au-29,4 г/т; Ag-69,3г/т и крупность 91,0% не более 0,08 мм.

Заключение. Проведённые исследования показали, что твёрдые отходы (кеки) содового выщелачивания обожжённого молибденового промпродукта представляют собой перспективное вторичное сырьё, содержащее железо, медь, рений и благородные металлы. Определено, что основными минеральными формами

в кеке являются гидроксиды и оксиды железа, молибдаты, а также остаточные сульфидные соединения. Установленные физико-химические свойства — мелкодисперсность, слабые магнитные характеристики и удельный вес около 1,33 т/м³ — позволили применить метод мокрой магнитной сепарации для разделения компонентов.

Разработанная технология мокрой магнитной сепарации с добавлением магнетитовых частиц (0,5–0,8 %) и полиакриламида (1,0 г/т) обеспечивает получение железного концентрата с содержанием Fe до 26,6 % и одновременным снижением содержания меди и молибдена. Немагнитная фракция обогащается медью (до 2,4 %) и молибденом (до 5,2 %) и может быть направлена на дальнейшую гидрометаллургическую переработку для извлечения ценных металлов.

Таким образом, предложенный комплексный подход обеспечивает эффективное извлечение железа и меди, способствует вовлечению отходов в повторный технологический цикл и повышает экологическую и экономическую эффективность переработки молибденосодержащих промышленных отходов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Спиринов, Э. К., Бубнов, В. К., Ласкорин, Б. Н., Водолазов, Л. Н., Андреев, И. Ю., Югай, А. В., Козин, О. М., & Спиринов, К. Э. (1992). Общие свойства ионообменных материалов. Акмола: Издательско-полиграфическое предприятие «Жана Д'Арк».
- [2] Tolibov, V. I., Hasanov, A. S., & Pirnazarov, F. G. (2019, November 27–28). Molybdenum containing products processing in conditions of SPA RM&RA AMMC. In Proceedings of the International Conference on Integrated Innovative Development of Zarafshan Region: Achievements, Challenges and Prospects (pp. 139–143). Navoi.
- [3] Авдохин, В. М. (2006). Основы обогащения полезных ископаемых (Т. 1: Обогащительные процессы). Москва: Издательство Московского государственного горного университета.
- [4] Кармазин, В. И., & Кармазин, В. В. (1984). Магнитные и электрические методы обогащения. Москва: Недра.
- [5] Авдохин, В. М. (2008). Основы обогащения полезных ископаемых (Т. 2: Обогащительные процессы). Москва: Горная книга.
- [6] Коровин, С. С., Букин, В. И., & Федеров, П. И. и др. (2003). Редкие и рассеянные элементы (Т. 3). Москва: МИСиС.
- [7] Ватолин, Н. А., Халезов, Б. Д., Харин, Е. И., & Зеленин, Е. А. (2010). Состояние и перспективы извлечения рения из молибденовых концентратов и промпродуктов. В Фундаментальные и прикладные проблемы науки (Т. 2, сс. 132–140). Москва: РАН.

UO‘K: 669.14:621.9:622.8

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.30

SANOATDA DETALLARNING YEYILISHINI OLDINI OLISH USULLARI



Boynazarov O'rol Ravshanovich

Qarshi davlat texnika universiteti professori, t.f.n., Qarshi, O'zbekiston



Xasanov Abdirashid Saliyevich

*“Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” AJ Innovatsion texnologiyalarni ishlab chiqish va tadbiq etish markazining texnologiya bo'yicha direktor o'rinbosari, t.f.d., professor, Olmaliq, O'zbekiston
E-mail: a.xasanov@srt-journal.uz
ORCID ID: 0009-0004-9162-7622*

Annotatsiya. Ma'lumki yer usti va yer ostidan qazib olingan minerallarni ajratib olishda ularning tarkibidagi xlorli va boshqa turdagi tuzlarning birikmalarining mavjudligi metall konstruksiyalariga abraziv ta'sir qilish bilan birgalikda korroziyaning holatlarini ham keltirib chiqaradi. Ushbu maqolada metall konstruksiyalarini ekspluatatsiya qilish muddatini oshirish maqsadida ularning sirt yuzalarini bardoshlilikini oshirish va har xil usuldagi qoplamalarning texnologiyasidan foydalanilgan va yeyilishga va korroziyaga qarshi bardoshlilikini oshirish bo'yicha tadqiqotlar olib borilgan.

Kalit so'zlar: ishchi detal, yeyilish, korroziya, konstruktiv, texnologik, ekspluatatsion, kvarts, granit, dala shpati, pyrit, yoyli qoplama, vibro-ark qoplama, qo'lda yoyli qoplama, sirt qoplama, plazma qoplama, yuqori chastotali induktiv metallash, induksion qoplama, azotlash.

МЕТОДЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РАЗЪЕДАНИЯ ДЕТАЛЕЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Бойназаров Урал Равшанович

Профессор, к.т.н., Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Хасанов Абдирашид Салиевич

Заместитель директора по технологиям Центра разработки и внедрения инновационных технологий, АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат», доктор технических наук, профессор, Алмалык, Узбекистан.

Аннотация. Известно, что наличие хлоридных и других солевых соединений при добыче полезных ископаемых с поверхности и под землей, наряду с абразивным воздействием на металлические конструкции, вызывает также коррозию. В данной статье с целью увеличения срока службы металлических конструкций проведены исследования по повышению долговечности их поверхностей и применению различных технологий покрытий для повышения их стойкости к износу и коррозии.

Ключевые слова: деталь, износ, коррозия, конструкционный, технологический, эксплуатационный, кварц, гранит, полево шпат, пирит, дуговое покрытие, вибродуговое покрытие, ручное дуговое покрытие, поверхностное покрытие, плазменное покрытие, высокочастотная индукционная металлизация, индукционное покрытие, азотирование.

METHODS OF PREVENTING PARTS CORROSION IN INDUSTRY

Boynazarov Ural Ravshanovich

Professor, PhD, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Khasanov Abdirashid Salievich

Deputy Director for Technology of the Center for Development and Implementation of Innovative Technologies, JSC "Almalyk Mining and Metallurgical Combine", Doctor of Technical Sciences, Professor, Almalyk, Uzbekistan

Abstract. *It is known that the presence of chloride and other salt compounds in the extraction of minerals from the surface and underground, along with the abrasive effect on metal structures, also causes corrosion. In this article, in order to increase the service life of metal structures, research was conducted on increasing the durability of their surfaces and using various coating technologies to increase their resistance to wear and corrosion.*

Keywords: *part, wear, corrosion, structural, technological, operational, quartz, granite, feldspar, pyrite, arc coating, vibratory arc coating, manual arc coating, surface coating, plasma coating, high-frequency induction metallization, induction coating, nitriding.*

Kirish. Olmaliq kon-metallurgiya kombinati (OKMK) kabi yirik ishlab chiqarish korxonalarida xomashyoni qazib olish va qayta ishlash jarayonlarida foydalaniladigan mashina va uskunalarning ishchi detallarida yeyilish va korroziya keng tarqalgan muammolardandir. Korxonadagi jarayonlarda mashina va uskunalarning ishchi detallari og'ir ekspluatatsion sharoitlarda ishlaydi. Bu holat ularning tez yeyilishi va korroziyaga uchrashi ehtimolini oshiradi. Quyida ushbu jarayonlarda yuz beradigan yeyilish va korroziya mexanizmlari haqida batafsil to'xtalib o'tamiz.

Xalq xo'jaligining turli sohalari uchun mashinalar yaratishda va keyinchalik ularni ekspluatatsiya qilishda uning detallar va ularning birikmalarining xizmat muddatini oshirish uchun turli xil usullar qo'llaniladi. Mashina detallari xizmat muddatini oshirishga xizmat qiladigan bunday usullarni ma'lumki, quyidagi uchta asosiy: konstruktiv, texnologik, ekspluatatsion bosqichga bo'linadi [1, 2].

Yuqorida qayd etilgan bosqichlarning birinchisida yaratiladigan ishchi detalning materiali, geometrik shakli, o'lchami, qaysi sirtiga qanday mexanik, termik, kimyoviy termik va shu kabi boshqa ishlov berish usullari rejasi ko'zda tutilsa, ikkinchi bosqichda tegishli shakl berilgan detal legirlobchi elementlar bilan boyitilib, ishlov berilib tayyor holatga keltiriladi. Uchinchi bosqichda esa ushbu ishchi detallar mashina va uskunalarga yig'ilib tegishli talab va xavfsizlikka rioya qilinib ekspluatatsiya qilinsa ular ma'lum xizmat muddatiga mustahkamligini ishonchli saqlaydi.

Korxonalarda uskunalarning va jihozlarning ishchi detallarini yeyilish mexanizmlari asosan tabiiy tosh, rudaning mayda qattiq zarrachalarini (masalan, kvarts, granit, dala shpati, pyrit va boshqalar) ishchi sirtlar bilan kontaktlashishida sirtini sidirib yoki kesib tashlashi va boshqalardan

iborat bo'ladi. Bu zarralar yuqori tezlikda harakatlanib, yuzani mexanik yo'l bilan yemiradi. Abrziv zarralar ayniqsa maydalash uskunalarining qoplama laynerlarini, bolg'alarni, tishli g'ildiraklarni intensiv yemiradi.

Bunday yeyilishlar asosan konveyerlarlarda, maydalagichlarlarda, transport vintlarilarida, nasoslarning rotorlari va korpuslarida, rudani maydalovchi sharli tegirmonlarda (shar va sirtlar orasida) yuz berib, natijada detallarning shaklini buzilishiga, ishlatishda samaradorlik pasayishiga va mexanik nosozliklarga olib keladi.

Bu kabi shikastlanishlarning davomli va qayta-qayta takrorlanishi ularning ta'sirini chuqurlashib borishiga va detallarda charchash yeyilishini sodir bo'lishiga sabab bo'ladi. Boshqacha aytganda uzoq muddatli takroriy zarbali yoki yuklama ostidagi ish natijasida detallarning ishchi sirtida mikroyoriqlar yuzaga kelib, ular sirt bo'ylab har xil yo'nalishda rivojlanadi va detal sirtidan parcha ko'chishi ya'ni sirtida molekulyar mustahkamlikni yomonlashishi yuz beradi. Natijada ishqalanuvchi sirtlar orasida urilishni ya'nada tezlashishiga xizmat qiluvchi mahalliy abraziv zarralar massasi oshadi. Ko'p hollarda rudani maydalashda zarba ta'sirida ishlaydigan detallarda (martish plastinalari, bolg'alar) bunday holatlar kuzatiladi.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Olmaliq kon-metallurgiya kombinatida kuzatiladigan yuqori tezlikda oqadigan gidroaralashmalar (masalan, slurry - suv va rudaning aralashmasi) eroziyaviy yeyilishga uchrab, buning natijasida truboprovodlar, nasoslar, gidrotsiklonlar kabi uskuna detallari yuza qismi yemiriladi. Yuqori bosim ostida harakatlanayotgan metall yuzalar bir-biriga ishqalanib, molekulyar darajada yopishib yeyilishidan keyin ajralib ketganda, yuzaning mayda zarrachalari ajralib chiqadi. Bu ayniqsa vallar, mufta sirtlari orasidagi kontakt joylarda kuzatiladi.

Xomashyo tarkibidagi qattiq zarralar (masalan, kvarts, dala shpati, pyrit va boshqalar) kon uskunalarning (eksavator, maydalagich, maydalovchi tegirmon, transport vintlari) ishchi sirtlariga uriladi yoki siljiydi.

Bundan tashqari detallarni yeyilish intensivligiga olib keluvchi omillar sifatida qazib oliadigan rudalarning yuqori abrazivligini, charchash jarayonini kuchaytiruvchi yuqori haroratni qayd etish mumkin. Ayrim holatlarda detal materialini noto'g'ri tanlanishi sirtning yemirishga chidamliligini past bo'lishiga sabab bo'lsa, detal tayyorlanadigan metalga ishlov berishda haroratni yoki harorat muhitini noto'g'ri bo'lishi metallning mikrostrukturasi zaiflashishiga olib keladi.

Detallarning holatiga ko'p hollarda ularning korroziya ta'siriga uchrashi va muhitning shunga moyilligi ta'sir etadi. Detallarda korroziyon jarayonni kuchaytiruvchi omillarni quyida qarab chiqamiz.

Kislotalilik (past pH) bo'lgan muhitda detallarni korroziyalanishi tezlashadi. Eksploatatsiya jarayonida detallarni yuqori haroratda bo'lishi ham korroziya jarayonini kuchaytiradi. Mashina va uskunalar ishlaydigan muhitda namlik va tuzlarning bo'lishi detallarda elektrokimyoviy korroziyani faollashtiradi. Ishlab chiqarish jarayonida elektrokimyoviy korroziyani faollashtiradigan ko'plab sulfid, xlorid, nitrat ionlari kabi agressiv moddalar mavjud. OKMKdagi nam muhitda metall va elektrolit orasida galvanik juftlik hosil bo'lib, anod zonasida metall ionlari eriydi, bu esa korroziyaga olib keladi [3, 4].

Shu bilan birga yuqori haroratli quritish, ko'machlash, eritish jarayonlarida (masalan, piritni kuydirishda) havodagi SO₂, H₂S, HCl kabi gazlar bilan reaksiyaga kirishgan yuzalar oksidlanib kimyoviy korroziyadan yemirilish yuz beradi. Ba'zan detallar sirtning lokal nuqtalarida korroziya chuqurchalari hosil bo'lib u pitting korroziya deb ataladi. Bunday korroziyalar vizual sezilmasligi mumkin, lekin detal strukturasi etarlicha zaiflashtiradi.

Xuddi shuningdek detallarning payvand choklari yoki strukturaviy nuqsonlari bo'ylab hamda tarkibiy yoriqlari orqali korroziya (interkristallik) tarqaladi. Bu metallning ichki birikmalarida kuchlanishlar hosil bo'lishiga sabab

bo'ladi.

Bunday yeyilish va korroziyalanishlarga uchraydigan detallar sirasiga maydalagich laynerlari, konveyer tasmalarining barabanlari, nasos korpusi va pervanelari, filtrlar va gidrotsiklonlar, issiqlik almashinuv qurilmalari, quritgichlar va pechlar misol bo'ladi.

Bu ta'sirlar natijasida quritgich va pechlarda termik yoriqlar va gazli korroziyalanishlar, maydalagich laynerlarida abraziv yeyilishlar va zarbalanishlar, issiqlik almashinuv qurilmalarida yuqori harorat, gazli muhitda oksidlanishlar, konveyer tasmalarining barabanlarida abraziv va yopishish yeyilishlar, nasos korpusi va pervanelarida eroziya va korroziya jarayoni hamda filtrlar va gidrotsiklonlarda qattiq zarrachalar ta'siri va kimyoviy korroziya holatlari kuzatiladi.

Detallarni yuqorida qayd etilgan salbiy holatlardan samarali himoyalash mashinalarning ish unumdorligiga va ishlab chiqariladigan mahsulot tonnarxiga o'zining ijobiy ta'sirini ko'rsatadi. Bu muammoning echimlari muammolarning sabablariga bog'liq holatda har xil yoki bir nechta ham bo'lishi mumkin.

Ular jumlasiga eksploatatsiya sharoitini hisobga olgan holda detallarni sirtini qattiq himoya qoplamalari bilan himoyalash, detallarni material sifatida alyuminlangan yoki kompozit materiallardan foydalanish, abrazivga chidamli po'latlar (55X, 38X2MYuA) yoki keramika/kompozit qoplamalardan foydalanish, ish joyida suyuqlik va gaz muhitlarini (pH, namlik) nazorat qilish, mashinada detallarni yog'lash tizimlarini to'g'ri loyihalash, yuzalarni azotlash, borlash, qoplama bilan himoyalash (Cr, Ni, Ti), Korroziyaga bardoshli zanglamaydigan po'latlar yoki himoya bo'yoqlar (epoksi, PVDF), namlikni, haroratni, ishqoriy-kimyoviy muhitni doimiy nazorat qilish va yeyilgan qismlarni modulli almashtirish kabi usullardan eng samaralisini foydalanish maqsadga muvofiq.

Quyida yuqorida qayd etilgan detallarni yeyilish va korroziyalanishdan samarali himoyasini ta'minlovchi ayrim texnologiyalar haqida fikr yuritamiz.

Sirt qoplamasi. Sirt qoplamalari ichida elektr yoyidan flius ostida naplavkalash jarayoni detallar sirtini mustahkamlashda muhim o'rin tutadi. Jarayonning mohiyati quyidagicha: doimiy tok elektrodga va mahsulotga uzatiladi. Naplavka

zonasining butun davomida yilish joylari flius kukuni bilan qoplanadi. Doira yonish zonasida detal yuzasi, elektrodning uchlari va unga yaqin flius massasi eriydi. Elektrod simi eritilishi davomida yilish zonasiga yuboriladi. Fliusning erish jarayonida gaz ajraladi va gaz parda hosil bo'ladi, bu esa eritilgan metallni atmosferadagi gazlardan va legirlangan elementlar yo'qolishidan samarali himoya qiladi. Shuningdek, flius qoplamasi yilish joyini issiqlikni saqlashga yordam beradi va 400-500 A tok kuchida suyuq metallarni chayqalishidan saqlaydi. Eritilgan metall soviy boshlaganda, u kristallanib, naplavka qatlami hosil bo'ladi.

Flyus ostida naplavka o'zgaruvchan yoki doimiy tokda amalga oshirilishi mumkin, bunda yelish joylari tashqi xususiyatlarining pasayishiga ega bo'lgan manbalardan ta'sirlanadi. Ishlab chiqarish samaradorligini oshirish maqsadida flius ostida ko'p elektrodli naplavka uskunalari va texnologiyasi ishlab chiqilgan. Ko'p elektrodli naplavka past chuqurlikda erish va yuqori samaradorlik bilan ajralib turadi.

Suyuqlik ostida joylashgan yoy ko'rinisidagi qoplamalarining turlaridan biri plastinka yotqizilgan elektrod bilan qoplangan. Sirt qo'yishdan oldin, yotqiziladigan sirt va plastinka elektrodi o'rtasida oqim qatlami quyiladi va ikkinchi qatlami oqim plastik elektrodga quyiladi. Metallni isitish va eritish elektr yoyi bilan amalga oshiriladi, u asosiy metall va gorizontal holatda joylashgan plastinka elektrodi o'rtasida yotqizilgan sirtga parallel ravishda yonadi. Elektr yoyi oldinga siljishi natijasida erigan metall kristallanadi va cho'kma qatlam hosil bo'ladi.

Tadqiqot qismi. Suyuqlik ostida yoy ko'rinisidagi qoplash usuli tekis yuzalarni va tashqi va ichki aylanadigan jismlarning murakkab profillarini qoplash imkonini beradi. Yuzaki qatlamning minimal qalinligi 1,5 mm. Qishloq xo'jaligi mashinasozligi, neft sanoati, avtomobil transporti va metallurgiya sanoatining ta'mirlash korxonalarida suv osti yoyi qoplamasi joriy etildi. Shunday qilib, 3X2V8 po'lat bilan qoplangan 60XG po'latdan yasalgan barabanlarning yeyilishga qarshiligi, qotib qolgan barabanlarning sirtsiz yeyilish qarshiligiga qaraganda 2-4 baravar yuqori. 55X po'latdan yasalgan suv ostidagi metall barabanlarning yeyilishga qarshiligi asosiy metallning qarshiligining 180-200%ni tashkil qiladi.

Usulning muhim kamchiliklari quyidagilardan iborat:

- istalgan xususiyatlarga va butun sirt bo'ylab bir xil qattqlikka ega bo'lgan yotqizilgan qatlamni olish har doim ham mumkin emas;

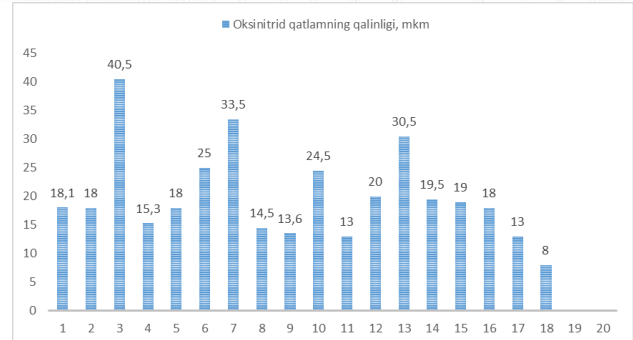
- naplavka qilingan metaldagi rakovina va teshiklar kuzatiladi, bu esa detallarni yeyilish kuchini pasaytiradi, ingichka qatlamlarni qoplash imkoni bo'lmaydi, chunki asosiy materialni isitish va uning deformatsiyaga uchrashi mumkin;

- material sarfi yuqori, 4 mm diametrlilik elektrod bilan naplavka qilishda past samaradorlik, diametri 50 mm dan kichik bo'lgan silindrik qismlarni naplavka qilish imkoni yo'q, detallarni isitish va qotib qolgan qotishmaning oqib ketishi, eritish jarayonida deformatsiyani kamaytirish uchun detalni sovutish uskunalarini qo'llash zarurati mavjud.

1-jadval

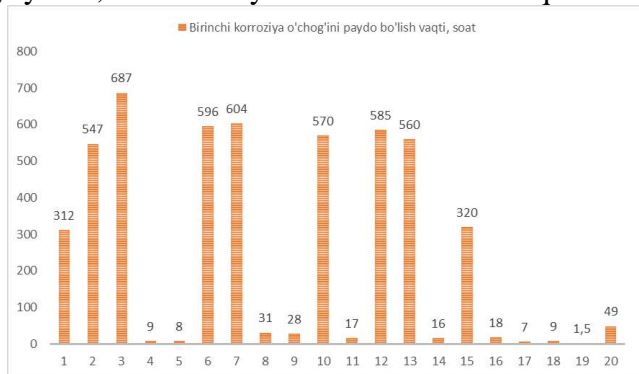
t=26°C da 3% natriy xloridli tuzli tuman kamerasida korroziya sinovlari natijalari

T/R	Ishlov berish rejimlari									Oksinitrid qatlamning qalinligi, μm	Birinchi korroziya o'chog'ini paydo bo'lish vaqti, soat	Korroziya maydoni, sinov davomiyligi, %/soat
	Oldindan oksidlash			Azotlash			Keyingi oksidlash					
	t, °C	t, min	h, mkm	t, °C	t, soat	h, mkm	t, °C	t, min	h, mkm			
1	-	-	-	580	2	15,1	580	30	3,0	18,1	312	5/300
2*	-	-	-	580	2	15,1	580	30	3,2	18,0	547	10/1125
3	620	5	2,0	620	2	37	620	30	5,5	40,5	678	5/352
4*	580	10	2,0	580	2	13,3	580	30	2,0	15,3	9	40/470
5	550	10	1,2	550	2	15,0	550	30	1,8	18,0	8	20/173
6	580	7	1,7	580	2	22,0	580	30	2,5	25,0	596	5/726
7	620	20	4,5	620	2	29,2	620	30	4,3	33,5	604	5/743
8	550	20	2,0	550	2	12,0	550	30	2,6	14,5	31	50/130
9	550	10	1,2	550	1	12,0	550	20	1,8	13,6	28	50/163
10	580	5	1,2	580	2	21,3	580	30	2,1	24,5	570	5/694
11	580	30	3,6	580	2	10	580	30	4,2	13,0	17	40/125
12	620	30	5,2	620	2	16	620	30	3,5	20,0	585	5/712
13	620	5	2,0	620	1	27,5	620	20	2,8	30,5	560	10/1142
14	580	10	2,0	580	1	16,5	580	20	2,3	19,5	16	45/120
15	580	20	3,0	580	2	17,0	580	30	2,4	19,0	320	15/570
16	620	30	5,2	620	1	13,0	620	20	5,7	18,0	18	30/112
17	550	20	2,0	550	1	10,0	550	20	2,0	13,0	7	20/85
18	550	30	2,7	550	2	5,0	550	30	2,9	8,0	9	45/70
Asl namuna											1,5	50/70
Qattiq xrom qoplama h=16 mkm											49	50/230

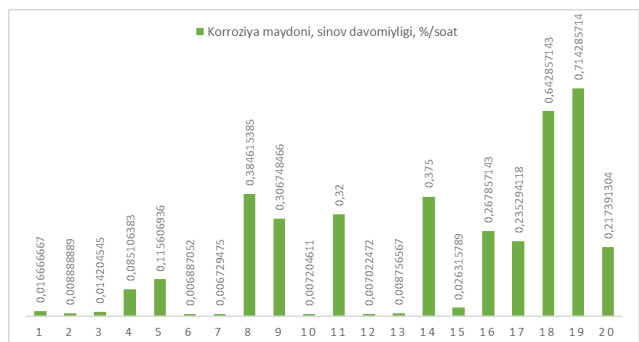


I-rasm. Turli rejimlarda azotlangan 55X po'lat namunalarda (1-jadval) oksinitrid himoya qatlamning shakllanishiga ta'siri.

Azotlash. Ma'lumki, Olmaliq kon-metallurgiya kombinati (OKMK)dagi uskuna va mashinalar og'ir yuklama, yuqori harorat, abraziv muhit, zarba va kimyoviy ta'sir ostida ishlaydi. Bu sharoitlarda mashina va uskuna detallari tez yeyiladi, deformatsiyalanadi va ishdan chiqadi.



2-rasm. Turli rejimlarda azotlagan (1-jadval) 55X po'lat namunalarning $t=26^{\circ}\text{C}$ da 3% natriy xloridli tuzli tuman kamerasida korroziya sinovlari natijalarida birinchi korroziya o'chog'ini paydo bo'lish vaqti, soat.



3-rasm. Turli rejimlarda azotlagan (1-jadval) 55X po'lat namunalarning $t=26^{\circ}\text{C}$ da 3% natriy xloridli tuzli tuman kamerasida korroziyaga sinashda korroziyaga maydoni, sinov davomiyligi, % /soat.

Detallar xizmat muddatini uzaytirish, yeyilishga, charchoqqa va korroziyaga bardoshlilikini oshirish uchun sirtini mustahkamlash texnologiyalari, xususan, azotlash (nitridlash) usuli ham muhim ahamiyatga ega [1].

Kombinatda foydalanishdagi uskuna va jihozlarda azotlashga yaroqligigi yaxshi 38X2MYuA va yaroqligigi o'rtachai 20, 40, 45, 55X, 60X, 60XG, hamda zanglamaydigan 20X13, 30X13 markali po'latlardan tayyorlangan detallar keng qo'llaniladi. Ushbu po'latlardan tayyorlangan

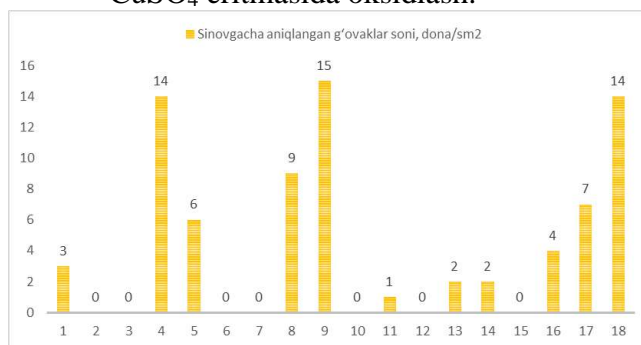
detallar optimal rejimda azotlash jarayonidan so'ng ularning sirtida olingan diffuzion himoya qatlami quyidagi xususiyatlarga ega bo'lganliklarini kuzatish mumkin.

2-jadval

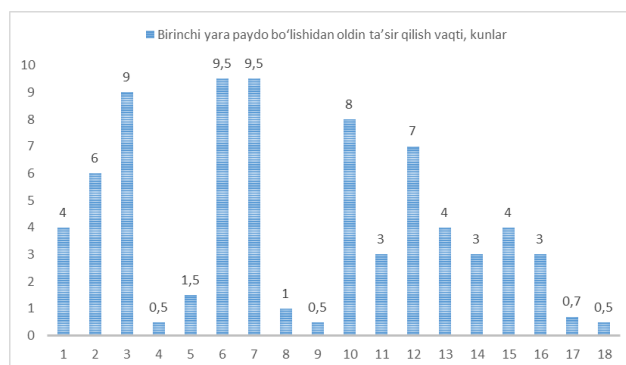
Qayta ishlash rejimlarining namunalarning korroziyaga chidamliligiga ta'siri

T / R	Jarayon harorati, $^{\circ}\text{C}$	Jarayon vaqti			Sinovgacha aniqlangan g'ovaklar soni, dona/ cm^2	Birinchi yara paydo bo'lishidan oldin ta'sir qilish vaqti, kunlar
		Oldindan o'tkazilish vaqti, min	Azotlash vaqti, soat	Azotlashdan keyingi oksidlash vaqti, min		
1	580	-	2	30	3	4
2*	580	-	2	30	g'ovaksiz	6
3	620	20	2	30	g'ovaksiz	9
4*	580	7	2	30	14	0,5
5	550	10	2	30	6	1,5
6	580	7	2	30	g'ovaksiz	9,5
7	620	5	2	30	g'ovaksiz	9,5
8	550	20	2	30	9	1
9	550	10	1	20	15	0,5
10	580	5	2	30	g'ovaksiz	8
11	580	30	2	30	1	3
12	620	30	2	30	g'ovaksiz	7
13	620	5	1	20	2	4
14	580	10	1	20	2	3
15	580	20	2	30	g'ovaksiz	4
16	620	30	1	20	4	3
17	550	20	1	20	7	0,7
18	550	30	2	30	14	0,5

*- CuSO_4 eritmasida oksidlash.



4-rasm. 55X po'lat namunalari qayta ishlashdan oldin namunalarda aniqlangan g'ovakliklar soni, dona/ cm^2 .



5-rasm. Turli rejimlarda ishlov berilgan 55X po'lat namunalarni $t=26^{\circ}\text{C}$ da 3% natriy xloridli tuzli tuman kamerasida korroziyaga sinashda ularda birinchi korroziya yarasini paydo bo'lish vaqti, kun.

Mashinasozlik va sanoatda ishlatiladigan po‘lat va himoya qoplamalar ko‘pincha past agressiv korroziy muhitda ishlaydigan turli ishqalanish juftlarini ishlab chiqarish uchun ishlatiladi.

Shuning uchun, ishqalanish juftlari uchun po‘lat va qoplamalarni tanlashda zaruriy shart nafaqat ularning neytral muhitda yeyilishga bardoshlilik, balki agressiv muhitda korroziyaga chidamliligi hamdir [1, 3].

Nitrid-oksit qatlamlarining korroziyaga chidamliligi ishlov berilmaganlarga nisbatan baholandi. Bundan tashqari, dastlabki oksidlanishsiz olingan nitrid-oksitli qoplamalar va xrom bilan qoplash jarayonida olingan qoplamalar solishtirildi.

Korroziyaga chidamlilik sinovlari, shuningdek, tuzli tuman muhitida iqlim kamerasida o‘tkazildi. Tadqiqot natijalari 1-2-jadvallar va 1-5 rasmlarda keltirilgan.

Sinovlar shuni ko‘rsatdiki, nitro-oksitlangan qismlar boshqa ishlov berish usullariga nisbatan eng kam korroziya dog‘lariga ega.

Shuni ta’kidlash kerakki, anodik oqim zichligi metallning erish tezligining o‘lchovidir va shunga mos ravishda uning ma’lum bir muhitda korroziyaga chidamliligi ko‘rsatkichidir. Ushbu korroziya birliklari osongina mm/yil, g/m² va boshqalar kabi birliklarga aylantirilishi mumkin.

55X po‘latida olingan nitrooksit himoya qatlami – yuqori qattqlikka 900–1200 HV, yeyilishga oddiy po‘latga nisbatan (2–10 baravar yaxshiroq) va charchashga chidamli, 20, 40, 45, 60X, 60XG, 20 da esa - etarlicha yaxshi natija (asosiy detallar uchun), 20X13, 30X13 da esa - yuqori haroratli va agressiv muhit uchun yaxshi natijaga ega [2].

3-jadval

Azotlashning amaliy tajriba asosidagi natijalari

Ko‘rsatkich	Ishlov berilmagan oddiy po‘lat	Azotlangan po‘lat	Natija
Yeyilishga qarshilik	1×	2×10	2–10 marta yuqori
Sirt qattqligi (HV)	200–300 HV	900–1200 HV	3–5 baravar oshgan
Xizmat muddati (aylanish soni)	100 ming	300–600 ming	Kamida 3 baravar ko‘p

Olib borilgan ilmiy-tadqiqot ishlarida olingan natijalar bo‘yicha OKMK texnologik ehtiyojlari asosida abraziv va zarbaviy va korroziya muhitida ishlaydigan maydalagich, nasos, konveyer baraban, val, tishli g‘ildiraklar sirtlarini yeyilishga bardoshli qilish, sovutish tizimi, gidravlika va gidrotsiklon detallarini korroziyadan himoyalash maqsadida ularni tegishli rejimlarda azotlash kimyoviy-termik ishlov berish texnologiyasi sifatida o‘zining qator afzalliklarga ega ekanligini ko‘rsatdi.

Azotlash kimyoviy inert qatlam hosil qilib, oksidlanishni sekinlashtiradi, ta’mir va tiklash ishlari samaradorligini oshiradi, azotlangan qatlam tiklashdan keyin ham o‘z mustahkamligini saqlab qoladi. Azotlashning amaliy tajribalar asosidagi natijalarini 1-jadvalda ko‘rish mumkin.

Xulosa. Olmaliq kon-metallurgiya kombinati kabi yirik ishlab chiqarish korxonalarida mashina va uskuna detallarining intensiv yeyilishi ularning ishlash samaradorligi va xizmat muddati uchun muhim xavf hisoblanadi. Kombinatdagi og‘ir sharoitlarda - yuqori abraziv, kimyoviy agressiv va termik yuklamalar ostida ishlovchi metall detallarning ishdan chiqish holatlari kuzatiladi. Mazkur muammoni samarali hal etish uchun sirtni mustahkamlovchi ilg‘or texnologiyalardan, jumladan sirt purkash va gazoplazmenli qoplama usullaridan foydalanish yuqori samara bermoqda.


OKMK sharoitida azotlash texnologiyasi - detallarning ishonchliligini oshirish, texnologik to‘xtalishlarni kamaytirish va xizmat muddatini uzaytirish uchun yuqori samara beruvchi sirt mustahkamlash usulidir. Bu usul abraziv, korroziv va termik yuklamalarga bardoshli mashina detallarini yaratishda muhim rol o‘ynaydi. Azotlash OKMKdagi modernizatsiya va raqobatbardoshlik strategiyasining bir qismiga aylanishi mumkin.

Ushbu usullar yordamida metall detallar sirtiga yuqori qattqlikka ega, korroziyaga va ishqalanishga chidamli qoplamalar hosil qilinadi. Bu esa OKMK tajribasida ko‘rsatganidek, mashina va uskuna detallarining xizmat muddatini bir necha baravar oshirishga, remont xarajatlarini kamaytirishga va ishlab chiqarishning uzluksizligini ta’minlashga imkon beradi. Shu bois sirt mustahkamlash texnologiyalarini sanoat miqyosida keng joriy etish OKMK kabi metallurgiya korxonalarida ishlab chiqarish samaradorligini oshirishda muhim omil bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Бойназаров, У. Р., Юршев, В. И., & Петрова, Л. Г. (2020, January 23–25). Изгибная прочность оксинитридных покрытий. В Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием) (с. 490–495). Оренбург, Россия.
- [2] Бойназаров, У. Р., & Раззоков, Т. Х. (2020, July 26). Микротвердость диффузионных нитрооксидных слоев. *Universum: технические науки*.
- [3] Бойназаров, У. Р., & Хасанов, А. С. (2023). Коррозионная стойкость оксинитридных защитных покрытий с последующим оксидированием в парах воды и в растворах медного купороса. *Journal of Advances in Engineering Technology*. Per. №0158.
- [4] Boynazarov, U. R. (2025). Increasing corrosion resistance and abrasive resistance of metal structures based on azoting technology in liquid and gaseous environments. *Journal of Multidisciplinary Bulletin*, 8(5). <https://doi.org/10.5281/zenodo.15684862>

УДК: 622.765

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.26

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД ХАНДИЗСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



Ражабов Шахбоз Холмаматович

Термезский государственный университет инженерии и
агротехнологий, ассистент, Термез, Узбекистан
E-mail: shaxbozrajabov515@gmail.com
ORCID ID: 0009-0008-7891-9734



Хакимов Камол Жураевич

Термезский государственный инженерный и
агротехнологический университет, PhD, доцент,
Термез, Узбекистан
E-mail: xakimovkamol718@gmail.com
ORCID ID: 0009-0001-2169-2283

Аннотация. В статье представлены результаты лабораторных и производственных исследований по флотационному обогащению полиметаллических руд Хандизского месторождения. Основное внимание уделено влиянию реагентного режима на качество и степень извлечения цинка из хвостов медно-свинцовой флотации. Для анализа минерального состава и структурных особенностей цинковых концентратов использовались методы сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энергодисперсионного анализа (ЭДС). Установлено, что применение усовершенствованной технологической схемы с увеличением расхода собирателя БКК и активатора (медного купороса) позволило повысить содержание цинка в концентрате до 55 % при совокупном извлечении 73,16 %.

Ключевые слова: флотационное обогащение, полиметаллические руды, Хандизское месторождение, цинковый концентрат, реагентный режим, СЭМ, ЭДС, сфалерит, галенит, пирит.

XONDIZA KONI POLIMETALL RUDALARINI FLOTATSION BOYITISHNI TADQIQ QILISH

Rajabov Shaxboz Xolmamatovich

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti
assistenti, Termiz, O'zbekiston

Xakimov Kamol Jurayevich

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti,
PhD, dotsent, Termiz, O'zbekiston

Аннотация. Мақоллада Хондиза конининг полиметалл рудларини флотация бойитиш бо'йича лаборатория ва ишлаб чиқариш тадқиқотлари натижалари келтирилган. Асосий е'тбор реагент режими миқдорининг таъсирини флотация шартларидан рўйи айлантириб олиш сифати ва даражасига таъсирини қаратилган. Рўйи бойитилган минерал таркиби ва структуравий хусусиятларини таҳлил қилиш учун сканерловчи электрон микроскопиya (SEM) ва энергия дисперсия таҳлили (EDT) усулларидан фойдаланилди. Аниқландики, БКК миқдори ва активатор (миқдор) сарфини ошириб билан тақомиллаштирилган технологик sxemani қўллаш концентратдаги рўйи миқдорини 55% гача, умумий айлантириб олиш 73,16% гача ошириб имконини берди.

Калит со'злар: флотация бойитиш, полиметалл рудалар, Хондиза кони, рўйи концентрати, реагент режими, SEM, EDT, сфалерит, галенит, пирит.

RESEARCH ON FLOTATION BENEFICIATION OF POLYMETALLIC ORES OF THE KHANDIZA DEPOSIT

Rajabov Shahboz Kholmamatovich

*Termez State University of Engineering and Agrotechnologies,
assistant, Termez, Uzbekistan*

Khakimov Kamol Juraevich

*Termez State Engineering and Agrotechnology University, PhD,
Associate Professor, Termez, Uzbekistan*

Abstract. This article presents the results of laboratory and industrial studies on the flotation beneficiation of polymetallic ores from the Khandiza deposit. The main focus is on the influence of reagent regimes on the quality and recovery rate of zinc from copper-lead flotation tailings. Scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) methods were used to analyze the mineral composition and structural features of zinc concentrates. It was determined that the application of an improved technological scheme, which involved increasing the consumption of the BKK collector and activator (copper sulfate), allowed for an increase in zinc content in the concentrate to 55% with a total recovery of 73.16%.

Keywords: flotation enrichment, polymetallic ores, Khandiza deposit, zinc concentrate, reagent regime, SEM, EDS, sphalerite, galena, pyrite.

Введение. Полиметаллические руды Хандизского месторождения характеризуются сложным минеральным составом и тонким взаимным сростанием минералов, что затрудняет их эффективное флотационное обогащение. На действующих обогатительных фабриках АО «АГМК» значительная часть цинка теряется в хвостах медно-свинцовой флотации, что требует оптимизации технологических схем и реагентных режимов.

Целью настоящей работы является исследование влияния состава флотореагентов и параметров технологической схемы на показатели флотации хвостов Cu–Pb флотации и получение цинкового концентрата с повышенным качеством и извлечением.

Материалы и методы. В качестве исходного материала использовались хвосты медно-свинцовой флотации руд Хандизского месторождения. Испытания проводились по усовершенствованной технологической схеме, включающей две основные и две контрольные стадии флотации с последующей перечисткой концентратов.

Для активирования минералов использовался медный купорос, а в качестве собирателя — БКК; пенообразователь — Т-92. Расход реагентов варьировался в пределах:

БКК — 30–60 г/т,

Т-92 — 20–40 г/т,

CuSO₄ — 100–120 г/т.

Минералогический и элементный состав полученных концентратов изучался с помощью

сканирующего электронного микроскопа Thermo Fisher Scientific Apreo 2 S LoVac и энергодисперсионного анализа (ЭДС).

Минералогический анализ. Флотационное обогащение хвостов Cu–Pb флотации проведено по технологической схеме, целью являлся перевод цветных и благородных металлов на состав концентрата, оставшихся после медной флотации схемы.

На изученном параграфе исследовано состав и структурные характеристики получаемого флотационных концентратов цинка, с целью оценки качества концентрата. При этом идёт проверка применяемых мер по реагентном режиме, также увеличение извлечения цинка как задействовало на концентрирование цинка на фазе концентрата, не ухудшалось ли качества флотационного концентрата которое дальнейшим направляющихся на цинкового завода АО «АГМК».

Результаты и обсуждение На последующих опытах исследования был изменен реагентный режим флотации, т.е. было увеличено количество собирателя и пенообразователя, вследствие чего степень извлечения цинка после II основной флотации увеличилась значительно и составила в среднем 4,8 % от сквозного извлечение цинка, после II контрольной флотации увеличение извлечение составило 12,84%, в объединённом концентрате суммарное увеличение извлечение составило 17,6%, результаты которого приведено в

таблице 2.

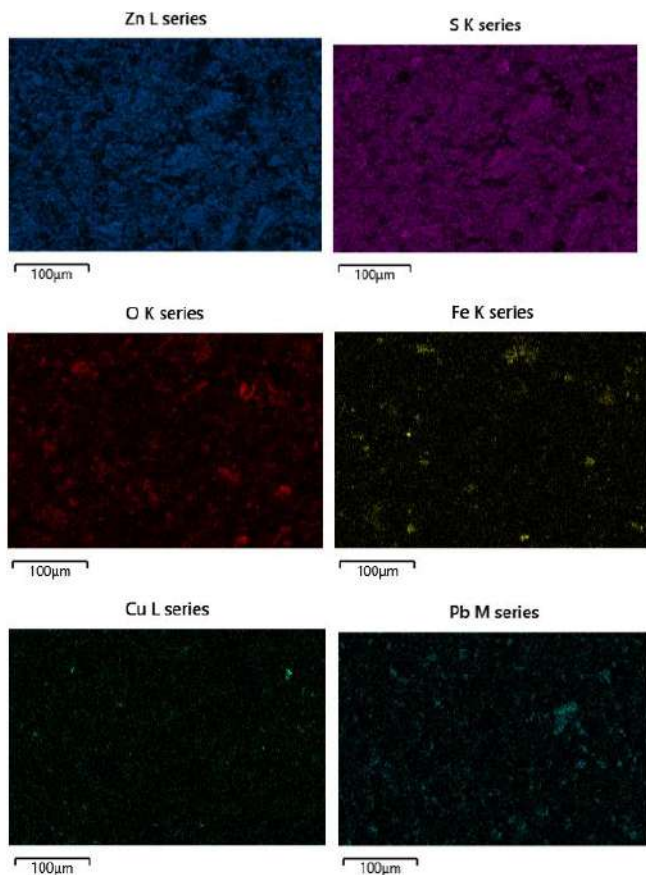


Рис.1. Снимок СЭМ поверхности концентрат №1*.

Образовавшихся флотоконцентратов изучалось на сканирующем электронном микроскопе Thermo Fisher Scientific Apreo 2 S LoVac.

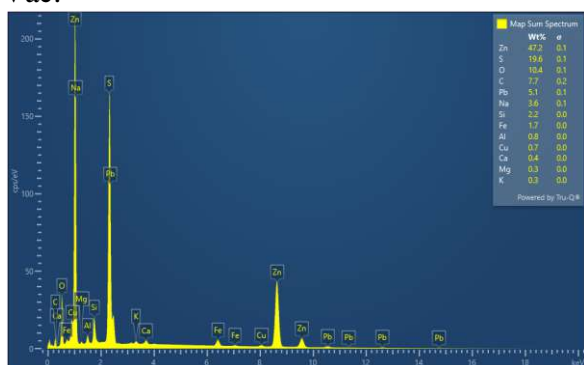


Рис.2. Поверхность образца флотоконцентратов полученных из полиметаллических руд Хандиза при 500-кратном увеличении, (концентрат №1*).

Результаты анализов показывает, что цинк хорошо концентрировался на фазе концентрата

с содержанием 47,2%, зеленое окраска снимков сканирующего электронного микроскопии явное выделение сульфидных сростках сфалерита, которое дополнительно подтверждается с высокими пиками серы равняющихся пиками цинка приведённое на рисунке 3.

Изучение поверхности концентратов показывает, что, чем ярче выглядят частицы, тем тяжелее элементы в этом минерале, по окраске можно судить какой металл больше всего находится в данном продукте, также, в снимках чем темнее цвет частиц, тем легче элементы в этой частице, таким образом частицы черного цвета являются углеродом. Изучаемая поверхность описывается в основном цинку смотрите рис.2., в качестве примеси минералов железа, находящихся на пике, которые встречаются с серой, что в свою очередь образуют минералы сульфидов железа, и заметное количество встречается на высоком пике интенсивностью у свинца с содержанием 5,1%, которое указывает на переход свинца из полиметаллических руд на фазе концентрата цинка. Кроме этого, содержание меди 0,7% хорошо отражается на фоне концентрата цинка. Цинковый концентрат старой схемы исследовано для сравнение концентратом получаемое по предложенному технологическому схему и с изменением реагентного режима.

Минералогический состав флотационного концентрата полученное по предлагаемое схемы цинкового передела, концентрат после II контрольной флотации с новым реагентным режимом для определения минерализации цинка и охарактеризование качества концентрата.

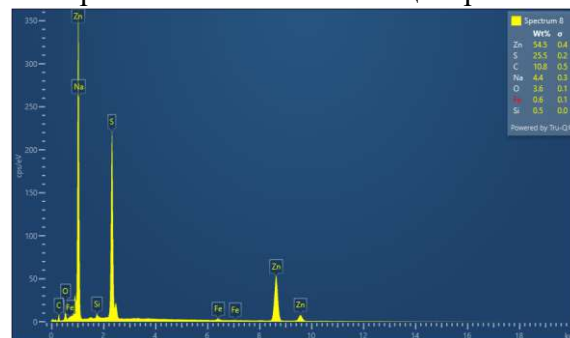


Рис.3. Диаграмма флотоконцентрата, полученных из II контрольной флотации с новым реагентным режимом, (концентрат №2*) 500-кратном увеличении.

Концентрат №2 представляет собой как выше сказано получен при флотационном способе обогащения цинкового передела после II стадийного основной флотации хвосты поступались на I контрольной флотации с расходом флотореагентом БКК – 60 г/т, Т-92-40 г/т, медный купорос - 120 г/т, образовавшихся хвосты поступает на II стадии контрольной флотации с реагентным расходом БКК – 30 г/т, Т-92-20 г/т, медный купорос - 100 г/т. Предложенное изменение дополнительного II стадии контрольной флотации с новым реагентным режимом привело к повышению качества флотоконцентрата с увеличением содержания цинка в концентрат и снижением общие количество свинца на цинковом концентрате. Этот новизна работы доказано с снимками СЭМ в рисунке 4. которое явное выражение высокое пике интенсивности цинка совпадает с пиками серы, при этом в качестве основного примесей определена минералы железистые и карбонатов натрия.

Таблица 1.

Элементный состав общей площади концентрата №2

Element	Line	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Name	Factory Standard
C	K series	0.63	0.00632	10.77	0.50	C Vit	Yes
O	K series	1.66	0.00559	3.61	0.14	SiO ₂	Yes
Na	K series	1.70	0.00717	4.37	0.33	Albite	Yes
Si	K series	0.23	0.00182	0.53	0.05	SiO ₂	Yes
S	K series	14.53	0.12514	25.53	0.23	FeS ₂	Yes
Fe	K series	0.44	0.00443	0.65	0.07	Fe	Yes
Zn	K series	33.64	0.33638	54.54	0.42	Zn	Yes
Total				100.00			

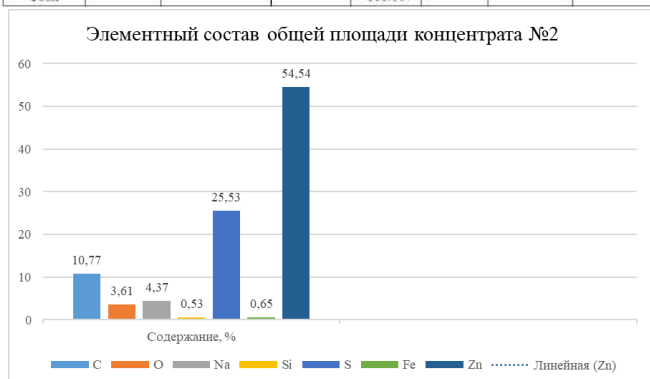


Рис.4. Элементный состав общей площади концентрата №2.

Результаты изучения ЭДС, приведённого в таблице 1 элементный состав общей площади концентрата №2, показывает высокое концентрирование цинка в виде минералов сфалерита с содержанием цинка 54,54%, в

качестве примесей, встречается в виде пирита, албита и кварца. Этот факт также, подтверждено с результатом химического анализа определением состава флотационного концентрата - результаты общей флотации цинкового передела, приведённое в таблице 2 которое содержание цинка составляло 55,89% отличается с результатом СЭМ тот же флотоконцентрата на 1,35%. Это утверждение приводит к выводу правильного сочетания выбрано исследователям реагентного режима увеличение расхода БКК и медного купороса.

После лабораторных исследований диссертантом разработано предлагаемое технологическое решение и режимные параметры флотационного обогащения цинкового передела. В условиях обогатительной фабрики Хандизы вместе со специалистами обогатительной фабрики было проведено опытно-промышленное испытание на 87 т. руды. Исходный материал измерен на сухой вес, он является хвостом Cu-Pb флотации. Реагенты подготовлены по требованиям технологического решения на производство цинкового концентрата на обогатительной фабрике «Хандиза».

Таблица 2.

Результаты флотационного обогащения полиметаллических цинковых руд

Наим.	Вес, т	Выход, %	Содержание, %			Извлечение, %		
			Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn
Результаты I Основная Zn-флотация								
Концентрат	3,13	3,6	0,92	3,00	54,27	10,58	11,64	70,46
Хвосты	83,96	96,4	0,23	0,81	9,00	21,93	25,92	96,18
Руда	87,09	100	0,31	1,05	13,99	32,51	37,56	166,64
Результаты II Основная Zn-флотация								
Концентрат	2,94	4,25	1,01	3,71	56,79	6,60	8,21	42,08
Хвосты	69,20	95,75	0,17	0,60	56,79	15,33	17,71	54,11
Руда	72,28	100	0,23	0,81	9,00	21,93	25,92	96,19
Результаты I Контрольная Zn-флотация								
Концентрат	0,65	0,9	0,86	3,33	56,88	1,98	2,60	14,88
Хвосты	71,63	99,1	0,16	0,52	4,05	13,35	15,10	39,22
Руда	72,28	100	0,17	0,60	5,44	15,33	17,70	54,10
Результаты II Контрольная Zn-флотация								
Концентрат	0,78	1,1	0,92	3,43	55,89	1,86	2,35	12,84
Хвосты	69,60	98,9	0,14	0,45	2,79	11,49	12,75	26,38
Руда	70,38	100	0,16	0,52	4,05	13,35	15,10	39,22
Результаты Zn I Перечистке								
Концентрат	0,23	3,1	1,58	3,05	61,20	0,73	0,48	3,22
Хвосты	7,10	96,9	0,94	3,33	53,53	7,92	9,51	53,61
Руда	7,33	100	0,97	3,32	53,93	8,65	9,99	56,83
Результаты Zn II Перечистке								
Концентрат	0,19	49,5	0,95	3,05	25,0	0,66	0,40	2,70
Хвосты	0,19	50,5	0,96	3,05	58,95	0,07	0,08	0,52
Руда	0,38	100	1,58	3,05	61,20	0,73	0,48	3,22
Концентрат I Основная Zn-флотация	9,44		0,92	3,00	54,27	10,58	11,64	70,46
Концентрат Zn II Перечистка	0,32		0,95	3,05	25,0	0,66	0,40	2,70
Объединённый Zn к-т			0,95	3,23	55,0	11,24	12,04	73,16

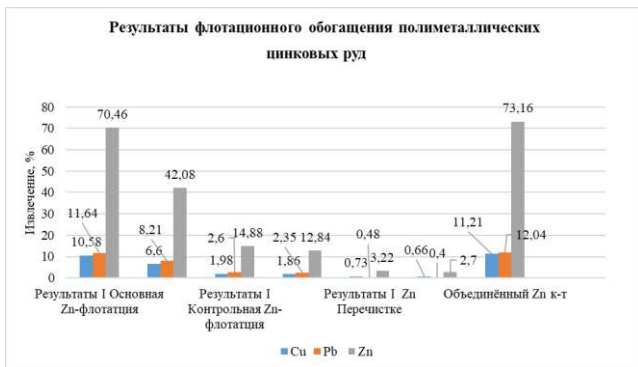


Рис.5. Результаты флотационного обогащения полиметаллических цинковых руд.

Из таблицы 2 можно судить, что суммарное содержание цинка в объединённый цинковом концентрате составило 55%, со сквозном извлечением 73,16%. Также содержание свинца в концентрате варьируется от 3 до 3,23%. Ниже исследовано ряд цинковых флотоконцентратов для оценки качества концентрата и для изучения минералогии для дальнейшего охарактеризован технологии переработке цинкового концентрата.



Рис.6. Снимки СЭМ поверхности флотоконцентрата, (концентрат №3*) 10000-кратном увеличении.

Для польноты исследовании минералогии концентратов цинка увеличение разрешение СЭМ поднито до 10000 кратно размера, таким образом, создалься возможность обсудить размеры частицы с 5 микронном.

Снимки Энергодисперцинного анализа хорошо видно структура всех элементов, встречающихся в концентрате №3, в основном элементом цинка, в качестве попутного полезного компонента меди и свинцом. Концентрат №3 представляет объединённый цинковой концентрат (смотрите в таблице 2).

Судя по рис.6. на поверхности цинковом концентрате №3 обследовано 5 спектров, из них высокое концентрирование цинка определялся в

3-спектре, обломки частицы с фиолетовом оттенками серы в точ попадаетс обломкамы цинка (смотрите верхние снимки ЭДС Рис.7.- изображение цинка и серы) которой характеризован минералам сфалерита.

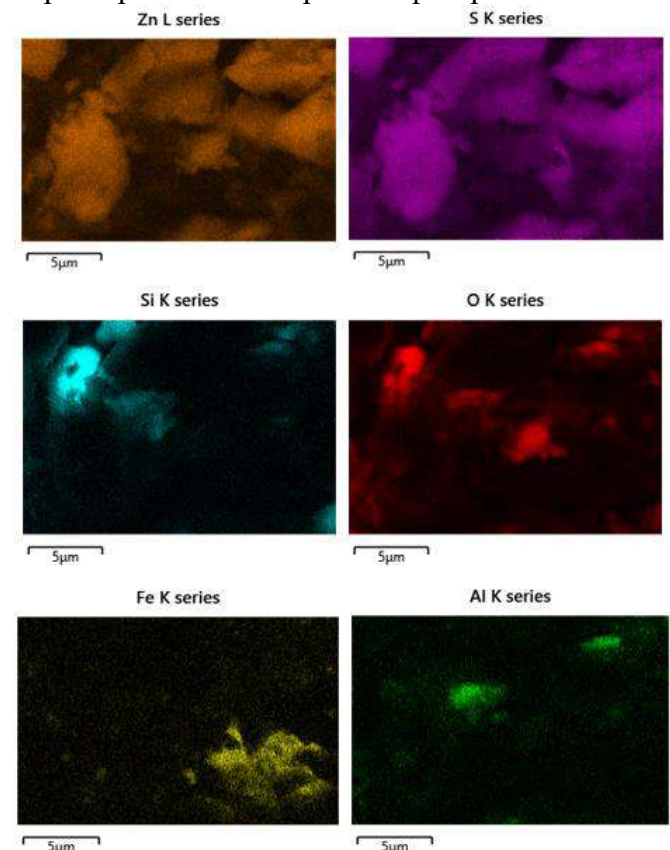


Рис.7. Снимки СЭМ - ЭДС поверхности флотоконцентрата, (концентрат №3*) 10000-кратном увеличении.

Жёлтым окрасков явлное выделение показывается минералы железа в виде пирита, из анализа хорошо определена примеси кварци иглиназёма.

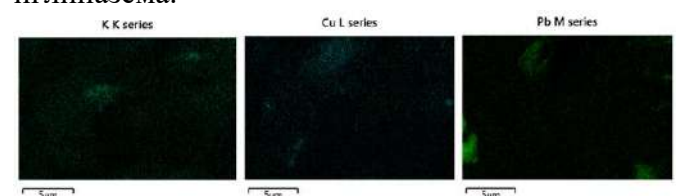


Рис.8. Снимки СЭМ - ЭДС поверхности флотоконцентрата, (концентрат №3*) 10000-кратном увеличении.

В спектре 1 обозначена цинковая поверхность пробы, имеющая высокую прочность меди 54,1% в изучаемой пробе

концентрата, связанной с серой (см.рис.9. и табл.3. элементный состав концентрата №3), которая указывает на минералы сульфида цинка, а в качестве примеси встречается сульфид железа. Здесь имеются отличия от остальных проб - в изучаемой пробе повышенное содержание свинца, котором колеблется до 5,6%, смотрите в диаграмме рис.9., цинк явно выделено с высокими пиками, отслеживание серы равняется минералами цинка, свинца и железой характерно показывается минералы сфалерита, галенита и пирита.

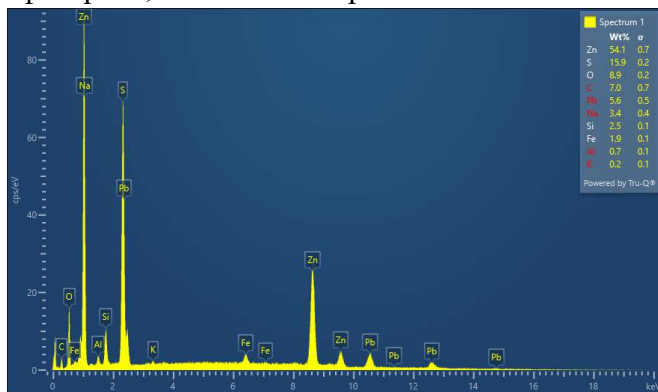


Рис.9. Диаграмма энергодисперсионного анализа поверхности флотоконцентрата, (концентрат №3*) 10000-кратном увеличении.

Таблица 3.

Элементный состав обеднённого флотоконцентрата (концентрат №3*)

Element	Signal Type	Line	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Name	Factory Standard
C	EDS	K series	0.24	0.00241	6.99	0.71	C Vit	Yes
O	EDS	K series	2.26	0.00761	8.85	0.25	SiO ₂	Yes
Na	EDS	K series	0.62	0.00260	3.35	0.38	Albite	Yes
Al	EDS	K series	0.12	0.00086	0.72	0.07	Al ₂ O ₃	Yes
Si	EDS	K series	0.51	0.00404	2.46	0.09	SiO ₂	Yes
S	EDS	K series	4.32	0.03724	15.88	0.25	FeS ₂	Yes
K	EDS	K series	0.07	0.00056	0.21	0.05	KBr	Yes
Fe	EDS	K series	0.62	0.00622	1.85	0.14	Fe	Yes
Zn	EDS	K series	16.54	0.16535	54.08	0.66	Zn	Yes
Pb	EDS	M series	1.41	0.01313	5.60	0.53	PbTe	Yes
Total					100.00			

Из рис.8. можно обсудить зелёное окрашен свинец с минералами галенита повышенном концентрации, чем обычного, это обуславливается с увеличением собирателя хорошо воздействовались на повешение количестве свинца на цинковом концентрате, но по

требованием цинкового концентрата количестве свинца должно быть более меньшем количестве.

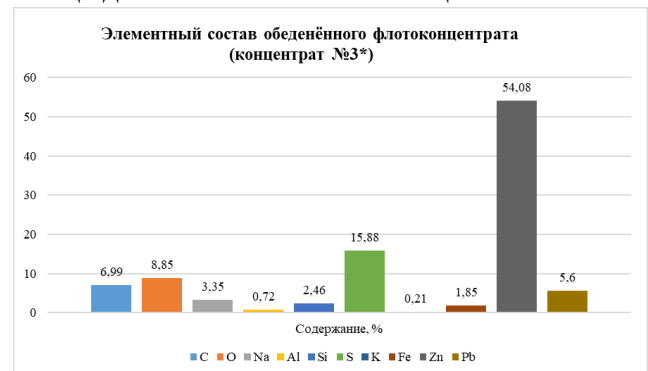


Рис.10. Элементный состав обеднённого флотоконцентрата (концентрат №3*).

Результаты химического и минералогического состава флотоконцентратов таблицы 2 и 3 по элементному составу обеднённого флотоконцентрата (концентрат №3*) определен содержание цинка 54,08% совпадает с окончательной флотоконцентратом цинкового передела. Из результатов таблицы 3 показывает свинец в цинковом концентрате находится вместе с теллуридом, также глубокое исследование показали хороших концентрирование благородных металлов на фазе медного и цинковом концентрате, в частности золота и серебра с минералами пирита и теллуридов.

Технологические испытания. В условиях обогатительной фабрики «Хандиза» было проведено опытно-промышленное испытание на партии руды массой 87 т. Полученные результаты подтвердили лабораторные данные: концентрат характеризуется стабильным качеством и технологически допустимым содержанием примесей.

Заключение. Оптимизация реагентного режима флотации хвостов Cu–Pb передела позволила повысить извлечение цинка до 73,16 % при содержании 55 % Zn в концентрате.

Установлено, что повышение расхода БКК и CuSO₄ обеспечивает лучшую активацию сфалерита и способствует росту выхода цинкового концентрата.

Минералогический анализ подтвердил, что концентрат состоит преимущественно из сфалерита с примесями галенита и пирита.


Полученные результаты могут быть использованы при оптимизации схем обога-

щения на обогатительных фабриках АО | «АГМК».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Умарова, И. К. (2016). Технологические исследования на обогатимость полиметаллических проб руды месторождения Чинарсай. В Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности: Материалы 12-й международной конференции (с. 332–338). Тула–Минск–Донецк.
- [2] Umarova, I. K., Salijanova, G. Q., & Avinjanova, S. I. (2018). Study on the enrichment of polymetallic ores of the deposit Handiza. In Sustainable development of resource-saving technologies in mineral mining and processing (pp. 286–306). Universitas Publishing.
- [3] Ражабов, Ш. Х., Хасанов, А. С., & Хакимов, К. Ж. (2025). Совершенствование технологий обогащения полиметаллических руд месторождения Хандиза на основе изучения вещественного состава. *Universum: технические науки*, 2(131) (Ч. 2), 19–23.
- [4] Хакимов, К. Ж., & Ражабов, Ш. Х. (2025). Сырья характеристика и основных технологических материалов Хандизинского месторождения. *Развитие науки и технологий*, 4, 110–119.
- [5] Hakimov, K. J., & Rajabov, Sh. X. (2024). Rux metali, dunyo bo'yicha ishlab chiqarishdagi o'rni. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 1, 77–81.
- [6] Rajabov, Sh. X., Hakimov, K. J., Xolnazarov, F. A., & Abdisoatov, S. Z. (2025). Xondiza koni polimetall rudalaridan rux, mis va qo'rg'oshin metallarini ajratib olish texnologiyasini takomillashtirish. *Kompozitsion materiallar*, 2, 80–84.

УДК: 004.942

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.28

ПРИМЕНЕНИЕ PYTHON ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛАКА ТОЧЕК, ИМИТИРУЮЩЕГО ОРТОФОТОПЛАН, НА ОСНОВЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАНЫХ ГРАНИТНОГО КАРЬЕРА МИКАШЕВИЧИ



Бильдюк Егор Викторович

Белорусский национальный технический университет, аспирант, Беларусь

Аннотация. Статья посвящена анализу работы с программным продуктом ТИМ КРЕДО Маркшейдера, используя данные гранитного карьера Микашевичи. В статье рассмотрен процесс обработки данных с использованием облаков точек, конвертации форматов и увеличения плотности данных с помощью Python-скриптов. Описаны результаты построения поверхности карьера и ее сравнение с изолиниями, полученными из GIS-программы Surfer. Предложенные методы улучшения обработки данных карьера позволили повысить точность моделирования и снизить затраты на обработку данных.

Ключевые слова: ТИМ КРЕДО Маркшейдера, облако точек, Python-скрипт, конвертация данных, формат .las, интерполяция, геодезические данные, карьера, моделирование, DXF-изолинии, Surfer.

PYTHON YORDAMIDA GEODEZIK MA'LUMOTLAR ASOSIDA MIKASHEVICH GRANIT KARYERINING ORTOFOTOPLANI O'RNINI BOSADIGAN NUQTALAR BULUTINI HOSIL QILISH

Bilydyuk Egor Viktorovich

Belarus Milliy Texnika Universiteti, aspirant, Belarus

Annotatsiya. Maqola TIM CREDO Marksheyderiya dasturiy mahsuloti bilan ishlash tahliliga bag'ishlangan bo'lib, Mikashevichi granit karyerining ma'lumotlari asosida amalga oshirilgan. Tadqiqotda nuqta bulutlari bilan ishlash jarayoni, formatlarni konvertatsiya qilish va Python skriptlari yordamida ma'lumot zichligini oshirish bosqichlari ko'rib chiqilgan. Karyer yuzasining modellashtirilgan natijalari Surfer GIS dasturidan olingan izoliniyalar bilan solishtirilgan. Taklif etilgan ma'lumotlarni qayta ishlash usullari modellashtirish aniqligini oshirdi va ma'lumotlarni qayta ishlash xarajatlarini kamaytirdi.

Kalit so'zlar: TIM CREDO Marksheyderiya, nuqta buluti, Python skripti, ma'lumot konvertatsiyasi, .las formati, apsemling, interpolatsiya, geodezik ma'lumotlar, karyer, modellashtirish, DXF izoliniyalar, Surfer.

APPLICATION OF PYTHON FOR GENERATING A POINT CLOUD REPLACING THE ORTHOPHOTO PLAN BASED ON GEODETIC DATA OF THE MIKASHEVICH GRANITE QUARRY

Bildyuk Egor Viktorovich

Belarusian National Technical University, postgraduate student, Belarus

Abstract. *The article is devoted to the analysis of working with the software product TIM CREDO Mine Surveying using data from the Mikashevichi granite quarry. The study examines the process of data processing using point clouds, format conversion, and data densification through Python scripts. The results of quarry surface modeling and its comparison with contour lines obtained from the GIS software Surfer are presented. The proposed data processing improvement methods have increased modeling accuracy and reduced data processing costs.*

Keywords: *TIM CREDO Mine Surveying, point cloud, Python script, data conversion, .las format, upsampling, interpolation, geodetic data, quarry, modeling, DXF contours, Surfer.*

Введение. Современное развитие маркшейдерской науки и геоинформационных технологий привело к активному внедрению методов трёхмерного моделирования в задачи горного производства. Одним из ключевых направлений цифровизации горных работ является применение облаков точек для построения высокоточных поверхностей карьеров, анализа геометрических параметров и последующего мониторинга состояния горнотехнических объектов. Облака точек позволяют воспроизводить реальную форму рельефа с высокой степенью детализации, что делает их незаменимым инструментом при выполнении геодезических, маркшейдерских и инженерно-геологических работ.

Однако создание полноценного ортофотоплана или плотного облака точек требует соответствующего оборудования и программного обеспечения, а также наличия данных формата .las, получаемых, как правило, методом лазерного сканирования или аэрофотосъёмки. В тех случаях, когда такие данные отсутствуют, возникает необходимость разработки методов преобразования первичных геодезических измерений в формат, пригодный для дальнейшей 3D-обработки.

В условиях указанной проблемы особую актуальность приобретает применение языков программирования, в частности Python, позволяющего автоматизировать процессы конвертации данных, интерполяции и увеличения плотности облаков точек. Применение пользовательских скриптов делает возможным преобразование исходных координат в требуемый формат .las, создание имитационного облака точек и последующее использование его в

специализированных программных комплексах, таких как ТИМ КРЕДО Маркшейдерия.

В рамках данной работы рассматривается методика формирования облака точек, имитирующего ортофотоплан, на основе геодезических данных гранитного карьера Микашевичи. Особое внимание уделено вопросам конвертации данных, увеличения плотности точек посредством интерполяции, а также построению цифровой модели рельефа с использованием программного продукта ТИМ КРЕДО Маркшейдерия. Полученные результаты сопоставлены с изолиниями, созданными в ГИС-среде Surfer, что позволило оценить точность моделирования и эффективность предложенных подходов.

Таким образом, представленное исследование направлено на развитие современных методов обработки геодезических данных и демонстрацию практической значимости применения Python-скриптов в задачах построения и анализа цифровых моделей карьеров.

Методология и обсуждение. Современные методы обработки геодезических данных, такие как работа с облаками точек, становятся важными инструментами в маркшейдерской практике. В данной статье описан опыт работы с программным продуктом ТИМ КРЕДО Маркшейдерия, использующим облака точек для создания моделей карьеров. Для тестирования возможностей программы были использованы данные гранитного карьера Микашевичи, состоящие из 7500 точек, что обеспечило высокую точность построения поверхностей.

Для тестирования возможностей ТИМ КРЕДО был использован набор данных гранитного карьера Микашевичи. Данные,

состоящие из 7500 точек, были получены методом геодезической съемки и представлены в текстовом формате с указанием координат (x, y, z). Однако из-за отсутствия исходного ортофотоплана и файла в формате .las была выполнена конвертация данных и увеличение частоты облака точек с помощью Python-скрипта.

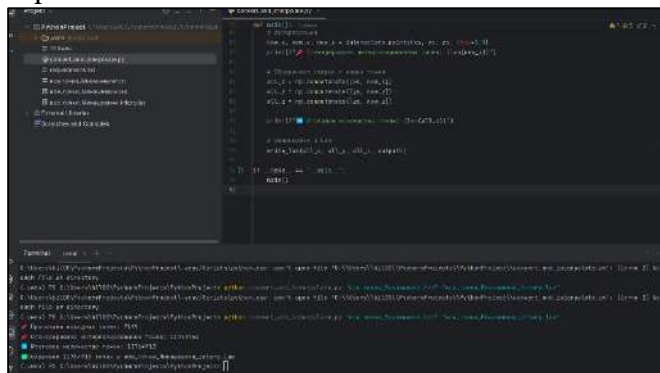


Рис.1. Скрипт, написанный на языке программирования Python для преобразования текстовых данных в формат .las.

Главной задачей было импортировать данные в виде облака точек. Ввиду отсутствия ортофотоплана, исходный файл в формате .las отсутствовал, поэтому был использован Python-скрипт, который преобразовал текстовые координаты (x, y, z) в формат .las и выполнил увеличение частоты.

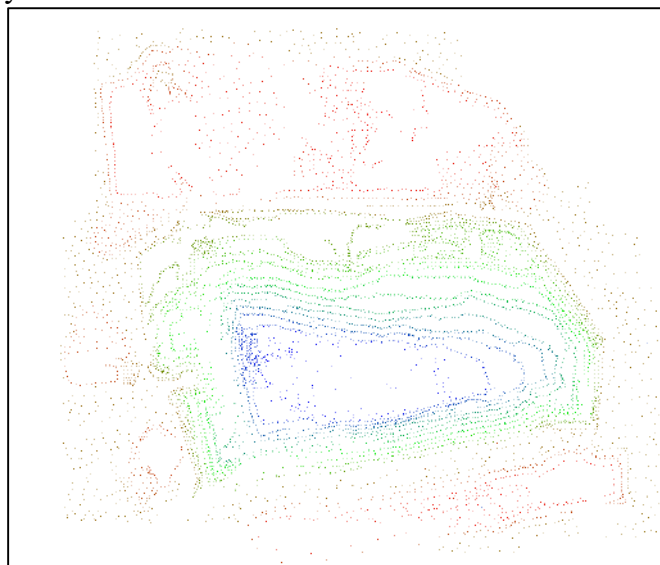


Рис.2. Облако точек, созданное благодаря скрипту, написанному на языке программирования Python.

Для улучшения визуальной составляющей и точности скрипт был доработан. После дополнительных манипуляций скрипт производил интерполяцию точек, увеличивая плотность облака точек в более чем 1500 раз. После этого облако точек было импортировано в ТИМ КРЕДО Маркшейдера для дальнейшей визуализации и анализа.

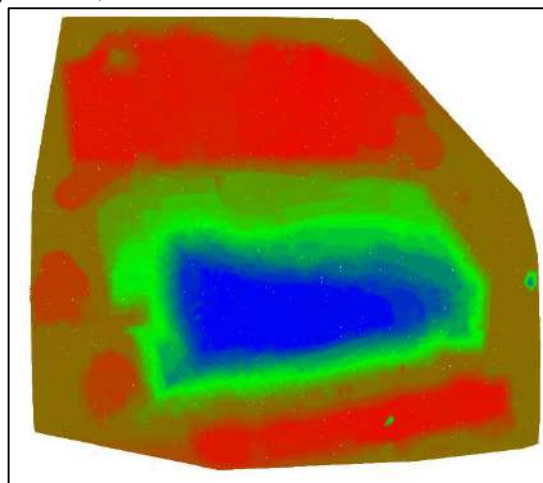


Рис.3. Облако точек после увеличения частоты в более чем 1500 раз.

После построения поверхности из облака точек была проведена визуальная проверка на сходство с реальными данными. Увеличенное количество точек, позволило точно воспроизвести контуры карьера. Длина и ширина карьера совпали с реальными данными, что подтвердило правильность работы скрипта и отображения точек. Было также проведено сравнение с изолиниями, импортированными из ГИС программы Surfer.

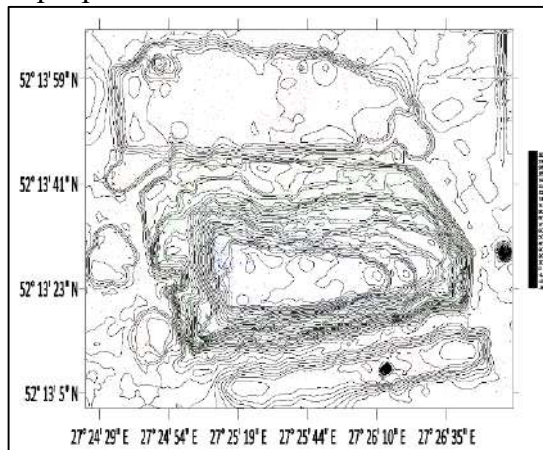


Рис.4. Сравнение облака точек с изолиниями, импортированными из ГИС Surfer.

Работа с программным продуктом ТИМ КРЕДО Маркшейдерия показала высокую эффективность инструмента. Использование Python-скрипта для конвертации и увеличение количества данных (точек) позволило увеличить плотность облака точек и соответственно повысить точность построения поверхности. Это подтверждается совпадением с импортированными изолиниями из ГИС Surfer.

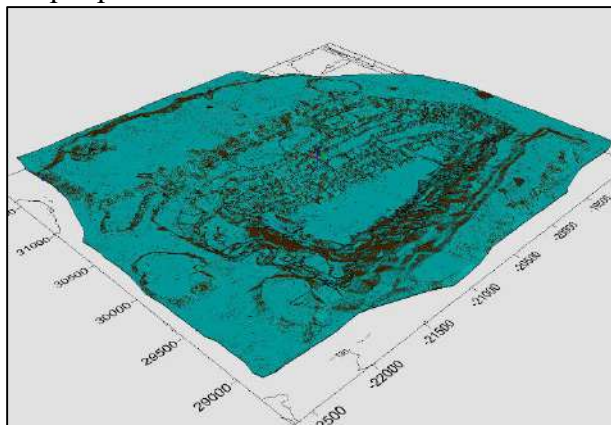


Рис.5. DXF-модель и облако точек в 3D-представлении.

Заключение. В ходе проведённого исследования была разработана и апробирована методика формирования облака точек, имитирующего ортофотоплан, на основе геодезических данных гранитного карьера Микашевичи. Использование языка программирования Python позволило автоматизировать процесс конвертации исходных текстовых данных в формат .las, существенно увеличить плотность облака точек за счёт интерполяции и тем самым создать высокодетализированную цифровую модель рельефа.

Применение полученного облака точек в программном комплексе ТИМ КРЕДО Маркшейдерия подтвердило точность и корректность преобразованных данных. Построенная поверхность карьера демонстрирует высокую степень соответствия реальным геометрическим параметрам объекта, что подтверждается сравнением с изолиниями, импортированными из ГИС-программы Surfer. Совпадение контуров и рельефных элементов свидетельствует о правильности выбранного подхода и эффективности использования Python-скриптов в задачах маркшейдерского моделирования.

Предложенная методика обладает рядом преимуществ:


- позволяет получить плотное облако точек при отсутствии исходных файлов формата .las;
- сокращает временные и финансовые затраты на подготовку данных;
- повышает точность моделирования поверхности карьера;
- расширяет возможности дальнейшего анализа в специализированных программных комплексах.

Полученные результаты подтверждают, что интеграция Python-инструментов с маркшейдерскими программами является перспективным направлением в обработке пространственных данных. Данный подход может быть использован для подготовки цифровых моделей любого горнотехнического объекта, а также рекомендован для учебных, производственных и исследовательских целей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ТИМ КРЕДО. (n.d.). Маркшейдерия: Руководство пользователя.
- [2] Kim, D., Ga, W., Ahn, P., Joo, D., Chun, S., & Kim, J. (2022). Global-local path networks for monocular depth estimation with vertical CutDepth.
- [3] Zhou, Q., Park, J., & Koltun, V. (2018). Open3D: A modern library for 3D data processing.

УДК: 622.765.4:004.932

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.15

МЕТОДЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ СКОРОСТИ ПУЗЫРЬКОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ ПЕННЫМ СЛОЕ ФЛОТАЦИОННОЙ МАШИНЫ



Азизов Санжарбек Мухаммадович

Магистр, Инженер-программист «Навоийский ГМК» АО,
Навои, Узбекистан
E-mail: azizovlab@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-7696-0513



Кадиров Ёркин Баходирович

Доцент, PhD, Навоийский Государственный Горно-
технологический Университете, Навои, Узбекистан
E-mail: navdki@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-7020-1842

Аннотация. В данной работе рассматриваются особенности применения методов машинного зрения для определения скорости пузырьков на поверхностном пенном слое флотационной машины. Проанализированы существующие методы измерения скорости пузырьков, их преимущества и недостатки, а также установлена корреляционная зависимость между скоростью пузырьков и временем флотации золота. В результате исследования сформирована система методов, позволяющая оптимально и достоверно определять скорость движения пузырьков в поверхностном пенном слое флотационной пульпы.

Ключевые слова: флотация, обогащения золота, машинное зрение, пенный слой, скорость пузырьков, анализ изображений.

FLOTATSIYA MASHINASINING SIRT KO'PIKLI QATLAMIDAGI PUFAKCHALAR TEZLIGINI HISOBLASH USULLARI

Azizov Sanjarbek Muxammadovich

Magistr darajasi, Dasturiy ta'minot muhandisi, Navoiy kon-
metallurgiya kombinati AJ, Navoiy, O'zbekiston

Kadirov Yorqin Bahodirovich

Dotsent, PhD, Navoiy davlat konchilik va texnologiya universiteti,
Navoiy, O'zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada flotatsiya mashinasining sirt ko'pikli qatlamidagi pufakchalar tezligini aniqlash uchun kompyuter ko'rish usullarini qo'llanishi o'rganildi. Pufakchalar tezligini o'lchashning mavjud usullari, ularning afzalliklari va kamchiliklari tahlil qilinadi, shuningdek, pufakchalar tezligi va oltin flotatsiyasi vaqti o'rtasidagi korrelyatsiya tahlil qilindi. Tahlil natijasida flotatsiya pulpasining sirt ko'pikli qatlamidagi pufakchalar harakati tezligini aniq va ishonchli aniqlash imkonini beruvchi usullar tizimi ishlab chiqildi.

Kalit so'zlar: kompyuter ko'rish, pufakchalar tezligi, flotatsiya mashinasi, ko'pikli qatlam, havo berish parametrlari, oltin flotatsiyasi, tasvir tahlili.

METHODS FOR CALCULATING BUBBLE VELOCITY IN THE SURFACE FOAM LAYER OF A FLOTATION MACHINE

Azizov Sanjarbek

Master's degree, Software Engineer, Navoi Mining and
Metallurgical Combine JSC, Navoi, Uzbekistan

Kadirov Yorqin

Docent, PhD, Navoi State University of Mining and Technology,
Navoi, Uzbekistan

Abstract. This study examines the application of computer vision methods for determining the velocity of bubbles in the surface froth layer of a flotation machine. Existing methods for measuring bubble velocity are analyzed, along with their advantages and disadvantages, and a correlation between bubble velocity and gold flotation time is established. As a result of the research, a system of methods has been developed that enables accurate and reliable determination of bubble motion speed in the surface froth layer of flotation pulp.

Keywords: computer vision, bubble velocity, flotation machine, froth layer, air supply parameters, gold flotation, image analysis.

Введение. Процесс флотации представляет собой гетерогенный физико-химический процесс, доказавший свою высокую эффективность при обогащении минерального сырья и полезных ископаемых [1, 5]. Флотация является одним из наиболее сложных процессов обогащения на горно-обогатительных предприятиях, особенно при переработке упорных сульфидных руд, характерных для Кызылкумского региона Республики Узбекистан. Процесс флотации предшествует процессу измельчения, где руда после двух стадий измельчения превращается в пульпу, которая подаётся во флотационную ячейку. В нижнюю часть ячейки подаётся воздух, образующий пузырьки, к которым избирательно прилипают частицы минералов благодаря различию их поверхностных свойств. Гидрофобные частицы минералов поднимаются вместе с пузырьками на поверхность, образуя пенный слой, тогда как гидрофильная пустая порода оседает на дно и удаляется в хвосты. Физический принцип флотации основан на различии способности поверхностей минералов смачиваться жидкостью [4]. На рисунке 1 схематично изображен процесс флотации.

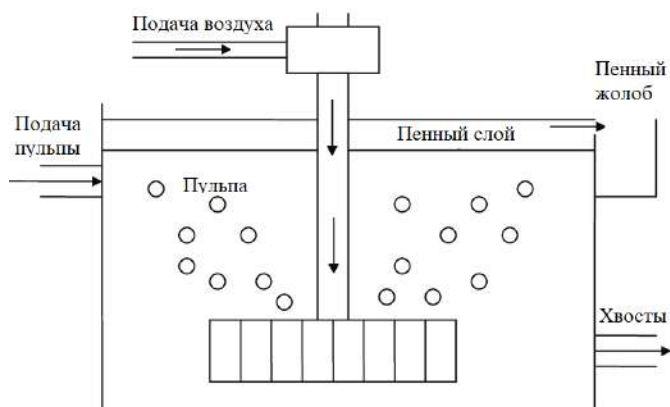


Рис.1. Принципиальная схема флотации.

Эффективность флотации во многом зависит от поведения пенной фазы, включая скорость движения пузырьков и скорость схода пены, которые напрямую влияют на извлечение ценных минералов [2, 11]. Непрерывный мониторинг поверхностного пенного слоя во флотационной машине является ключевой задачей для операторов флотационных участков. Однако из-за физиологических ограничений оператор флотации не всегда может своевременно выявлять изменения в динамике пены, особенно изменения скорости её движения.

Современные технологии, такие как машинное зрение и методы искусственного интеллекта, позволяют решать эту проблему, обеспечивая непрерывный контроль пенной фазы и извлечение её количественных характеристик: цвета, размера, геометрии, текстуры и скорости пузырьков [2]. В частности, показатели скорости схода пены и средней скорости пузырьков можно получить технологиями искусственного интеллекта точно, быстро и достоверно, что представляет собой ценную информацию о гидродинамике процесса.

Разработка и внедрение автоматизированных систем мониторинга и управления пеной, основанных на машинном зрении и методах машинного обучения, позволят повысить эффективность флотационных процессов и улучшить качество конечного концентрата [2,4].

В настоящей статье рассмотрена методика количественной оценки скорости пузырьков и схода пены в промышленных флотационных установках на основе анализа видеопотока пенной фазы. Использование многомерного анализа изображений позволяет извлекать ключевые характеристики пены и интегрировать

их в системы многомерного статистического контроля процессов (MSPC), обеспечивая надежный мониторинг гидродинамики флотационной камеры [2].

Методы. Сбор данных. В рамках исследования, направленного на определение методов вычисления скорости объектов, была проведена экспериментальная работа в цехе флотации гидрометаллургического завода, расположенного в Кызылкумском регионе. Для анализа использовалась опытная установка системы машинного зрения, осуществляющая мониторинг поверхностного пенного слоя в первой флотационной ячейке первой цепочки флотации.

В течение семи дней было собрано 168 видеофайлов и 120 030 фотографий. Для корреляции визуальных данных с технологическими параметрами, также были получены данные из АСУТП гидрометаллургического завода, включающие расход воздуха, количество реагента и уровень открытия задвижки флотационной машины.

Применение интегрированного подхода, сочетающего визуальный контроль и данные АСУТП, позволяет повысить точность анализа процессов флотации и оптимизировать методы вычисления скорости движущихся объектов [2].

Оборудования и программная среда:

Цифровая камера.

Для видеосъемки применялась камера Dahua HAC-HFW2509TU-A-LED с частотой кадров 25 FPS, обеспечивающая стабильную съемку и высокое качество изображения для анализа движения объектов.

Таблица 1.

Характеристика серверной платформы

Компонент	Характеристика
Сервер	HPE ProLiant Compute DL384 Gen12, форм-фактор 2U
Процессор	2 × NVIDIA GH200 Grace Hopper (72-ядерный Arm Neoverse V2 + графический ускоритель NVIDIA Hopper)
Оперативная память	480 ГБ LPDDR5X + 144 ГБ HBM3e на GPU; суммарно 1,2 ТБ унифицированной памяти
Хранилище	8 × EDSFF NVMe Gen5 SSD
Слоты расширения	4 × PCIe Gen5 ×16 с поддержкой OCP 3.0
Блок питания	2 × HPE Flex Slot Titanium, 1800–2200 Вт, горячая замена

Серверная платформа.

Экспериментальные вычисления проводились на сервере HPE ProLiant Compute DL384

Gen12, предназначенном для высокопроизводительных вычислений и задач искусственного интеллекта. Основная конфигурация представлена в Таблице 1.

Программная среда.

Исследования выполнялись в среде Python. Для реализации и тестирования алгоритмов использовались следующие библиотеки представленные в Таблице 2:

Таблица 2.

Библиотеки Python для анализа

Компонент	Версия	Назначение
OpenCV	4.9	Обработка изображений, детекция и трекинг объектов
NumPy	1.26	Численные расчёты
Pandas	2.2	Анализ данных
Matplotlib	3.9	Визуализация результатов
PyTorch	2.3	Построение и обучение моделей машинного обучения
Scikit-learn	1.5	Методы классификации и регрессии при анализе движения
Ultralytics YOLOv8	-	Детекция и идентификация объектов в видеопотоке
ОС	Ubuntu Server	22.04 LTS — платформа для проведения эксперимента

Методы обработки изображений. Для определения скорости объекта в потоке были использованы следующие методы: алгоритм Лукаса — Канаде [8]; глобальный метод Хорна–Шанка [8]; гибридный метод с виртуальными линиями пересечения и трекинг с помощью YOLO[6, 9, 12].

Алгоритм Лукаса — Канаде основан на предположении о локальной однородности оптического потока и вычисляет скорость путем минимизации ошибки яркостного соответствия в небольшом окне изображения [3, 8]. Данный метод эффективен для отслеживания мелких перемещений и обладает низкой вычислительной сложностью.

Глобальный метод Хорна–Шанка предполагает гладкость оптического потока по всему изображению и решает задачу через минимизацию функционала, включающего ошибку яркостного соответствия и регуляризационный член [8]. Этот метод обеспечивает более точные оценки потока в условиях шума, но требует больших вычислительных ресурсов.

Гибридный метод с виртуальными линиями пересечения объединяет локальные и глобальные подходы, используя виртуальные линии для улучшения оценки движения

объектов на пересечениях и границах, что позволяет повысить точность определения скорости в сложных сценах [6].

Трекинг с помощью YOLO (You Only Look Once) представляет собой метод детектирования и отслеживания объектов в реальном времени на основе глубоких сверточных нейронных сетей [6, 9, 12]. YOLO обеспечивает высокую скорость обработки и точность обнаружения, что делает его подходящим для динамического анализа движения.

Таким образом, каждый из рассмотренных методов обладает своими преимуществами и ограничениями, и выбор конкретного подхода зависит от условий задачи и требований к точности и скорости обработки [6].

Результаты. Для анализа динамики движения пузырьков во флотационной ячейке были применены три метода: метод оптического потока Лукаса–Канаде [8], трекинг объектов на основе нейронной сети YOLO [6, 9] и метод оптического потока Хорна–Шанка [8]. Видеоданные регистрировались с частотой 25 кадров в секунду и обрабатывались при одинаковых условиях, что обеспечило сопоставимость полученных результатов.

На первом этапе применялся метод Лукаса–Канаде. На рисунке 2 представлена временная зависимость средней скорости движения пузырьков. Скорость изменялась в диапазоне 0.07–8.72 мм/с с значительными колебаниями, связанными с нестабильностью пенного слоя.

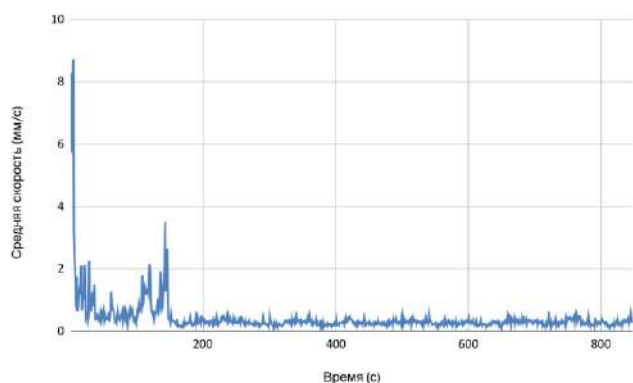


Рис.2. Временная зависимость скорости пузырьков, рассчитанная методом Лукаса–Канаде.

На втором этапе использовался трекинг

YOLO, обеспечивающий распознавание и отслеживание отдельных пузырьков на последовательности кадров. Результаты представлены на Рис.3. В сравнении с методом Лукаса–Канаде, YOLO выявляет более выраженные колебания скорости (18.34–41.12 мм/с), что обусловлено повышенной чувствительностью к локальным перемещениям пузырьков [9, 12].

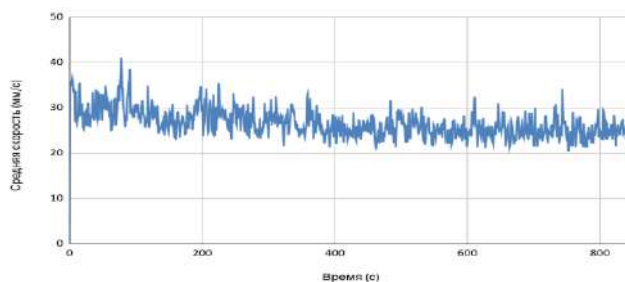


Рис.3. Временная зависимость скорости пузырьков, рассчитанная методом YOLO-трекинга.

Для уменьшения влияния высокочастотных колебаний частота кадров была снижена до 1 кадра в секунду.

На основе этих данных построены усредненные зависимости скоростей, полученных тремя методами (см. рисунок 4). При пониженной частоте кадров методы демонстрируют более согласованные тенденции изменения скорости.

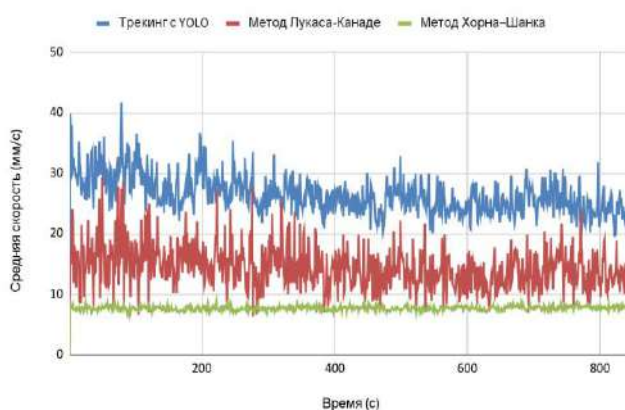


Рис.4. Сравнение средней скорости пузырьков, рассчитанной методами Лукаса–Канаде, YOLO и Хорна–Шанка при 1 fps.

Средние значения скоростей и стандартные отклонения для каждого метода приведены в Таблица 3.

Таблица 3
Средние значения скоростей и стандартные отклонения для каждого метода

Методы	Средняя скорость, мм/с	Стандартное отклонение
Лукаса–Канаде	14,34	3,05
YOLO-трекинг	26,32	3,53
Хорна–Шанка	7,7	0,34

Как показано в таблице 3, метод трекинга YOLO обеспечивает наибольшие значения средней скорости движения пузырьков — около 26,32 мм/с при стандартном отклонении 3,05 мм/с. Это свидетельствует о высокой чувствительности нейросетевого подхода к локальным перемещениям объектов, что позволяет фиксировать быстро меняющиеся участки пенного слоя [6, 9].

Метод Лукаса–Канаде показывает средние скорости порядка 14,34 мм/с при разбросе 3,53 мм/с, что указывает на более сглаженное восприятие движения вследствие локальной аппроксимации яркостного поля [3, 8]. Такой результат типичен для градиентных методов, не учитывающих резкие изменения контраста.

Наименьшие значения получены при использовании метода Хорна–Шанка — 7,7 мм/с со стандартным отклонением 0,34 мм/с. Это объясняется глобальной регуляризацией, которая подавляет локальные шумы и сглаживает поля скоростей, обеспечивая более стабильную, но менее чувствительную оценку движения [8].

Сравнение трёх методов показывает, что YOLO лучше отражает динамичные, быстро изменяющиеся области потока, тогда как методы Лукаса–Канаде и Хорна–Шанка обеспечивают более устойчивое и гладкое описание поля скоростей. В совокупности результаты подтверждают, что выбор метода должен определяться задачей: для оценки общей структуры движения предпочтителен Хорн–Шанк, а для анализа индивидуальных пузырьков — YOLO-трекинг [6, 9].

Обсуждение. В Полученные результаты демонстрируют значительные различия в оценках скорости движения пузырьков в поверхностном пенном слое флотационной машины в зависимости от применяемого метода. Метод трекинга на основе нейронной сети YOLO показал наивысшие значения средней

скорости (26,32 мм/с) с относительно низким стандартным отклонением (3,05 мм/с), что указывает на его способность точно фиксировать динамичные локальные перемещения пузырьков. В отличие от этого, метод Лукаса–Канаде дал промежуточные значения (14,34 мм/с), а глобальный метод Хорна–Шанка — наименьшие (7,7 мм/с) с минимальным разбросом (0,34 мм/с), что отражает их склонность к сглаживанию данных и подавлению шумов за счет потери детализации в быстрых изменениях [3, 8].

Преимущество метода YOLO в контексте флотационных процессов обусловлено его архитектурой на основе глубоких сверточных нейронных сетей, которая обеспечивает реальное время обработки видеопотока и высокую точность детекции отдельных объектов (пузырьков) даже в условиях сложной текстуры пенного слоя [6, 9]. Это особенно актуально для флотации упорных сульфидных руд, где пузырьки подвержены быстрым колебаниям из-за вариаций в подаче воздуха и реагентов, что напрямую влияет на гидродинамику процесса и время флотации золота. В нашем исследовании установлена корреляционная зависимость между скоростью пузырьков и временем флотации: более высокие скорости, фиксируемые YOLO, коррелируют с повышенной эффективностью извлечения минералов, минимизируя потери в хвостах, как подтверждается работами [1, 5, 11].

Методы оптического потока, такие как Лукаса–Канаде и Хорна–Шанка, хотя и эффективны для оценки общего поля скоростей в стабильных условиях [3, 8], менее подходят для пенного слоя из-за их чувствительности к шуму и градиентам яркости, что приводит к недооценке динамики [6]. Глобальная регуляризация в методе Хорна–Шанка обеспечивает стабильность, но жертвует чувствительностью к локальным вариациям, что критично для мониторинга в реальном времени. Напротив, YOLO интегрирует детекцию и трекинг в единую модель, позволяя учитывать индивидуальные траектории пузырьков и лучше адаптироваться к нестационарным условиям, таким как изменения в размере пузырьков или их распределении [7, 10].

Внедрение YOLO в системы машинного зрения для флотационных машин позволяет оптимизировать параметры подачи воздуха, как указано в аннотации, и интегрировать данные в многомерный статистический контроль процессов (MSPC). Это способствует автоматизации, повышая производительность на 10–15% за счет timely корректировки, как показано в аналогичных исследованиях [2, 4]. Однако, несмотря на преимущества, метод YOLO требует значительных вычислительных ресурсов, что было учтено в нашей экспериментальной платформе на базе NVIDIA GH200, но может ограничивать применение в менее мощных системах. Дальнейшие исследования должны фокусироваться на гибридных подходах, сочетающих YOLO с оптическими методами для баланса между точностью и эффективностью.

В целом, результаты подчеркивают, что трекинг YOLO является наиболее подходящим методом для оценки скорости пузырьков в поверхностном пенном слое, обеспечивая достоверные данные для оптимизации флотации золота и улучшения качества концентрата.

Заключение. Проведенное исследование демонстрирует высокую эффективность применения методов машинного зрения, в частности трекинга на основе нейронной сети YOLO, для оценки скорости пузырьков в поверхностном пенном слое флотационной машины. Метод YOLO показал наилучшие результаты, обеспечивая среднюю скорость

пузырьков 26,32 мм/с с приемлемым стандартным отклонением 3,05 мм/с, что свидетельствует о его способности точно фиксировать динамические изменения в пенном слое. В сравнении с методами оптического потока Лукаса–Канаде и Хорна–Шанка, YOLO лучше адаптируется к нестационарным условиям флотации, что особенно важно для процессов обогащения упорных сульфидных руд Кызылкумского региона [1, 5, 6].

Установленная корреляционная зависимость между скоростью пузырьков и временем флотации золота подчеркивает значимость точного мониторинга пенной фазы для повышения извлечения ценных минералов и минимизации потерь. Интеграция метода YOLO в системы многомерного статистического контроля процессов (MSPC) позволяет оптимизировать параметры подачи воздуха и реагентов, обеспечивая автоматизацию и повышение производительности флотационных процессов. Несмотря на высокие вычислительные требования, использование современных серверных платформ, таких как HPE ProLiant с суперчипами NVIDIA GH200, делает внедрение YOLO практически реализуемым.

Полученные результаты подтверждают, что трекинг YOLO является предпочтительным методом для анализа скорости пузырьков, предоставляя надежные данные для управления флотационными установками [6, 9].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Nguyen, T. P., Tran, T. H., Nguyen, T. A. H., Nguyen, N. N., & Nguyen, A. V. (2025). The role of surface mobility in enhancing froth drainage and reducing entrainment in flotation. *Minerals Engineering*, 233, Article 109632. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2025.109632>
- [2] Aldrich, C., & Liu, X. (2021). Monitoring of flotation systems by use of multivariate froth image analysis. *Minerals*, 11(7), Article 683. <https://doi.org/10.3390/min11070683>
- [3] Ammar, A., Fredj, H. B., & Souani, C. (2021). Accurate realtime motion estimation using optical flow on an embedded system. *Electronics*, 10(17), Article 2164. <https://doi.org/10.3390/electronics10172164>
- [4] Kosior, D., Wiertel-Pochopien, A., Kowalczyk, P. B., & Zawala, J. (2023). Bubble formation and motion in liquids—A review. *Minerals*, 13(9), Article 1130. <https://doi.org/10.3390/min13091130>
- [5] Shahbazi, B. (2015). Study of relationship between flotation rate and bubble surface area flux using bubble-particle attachment efficiency. *American Journal of Chemical Engineering*, 3(2-2), 6–12. <https://doi.org/10.11648/j.ajche.s.2015030202.12>

- [6] Alfarano, A., Maiano, L., Papa, L., & Amerini, I. (2024). Estimating optical flow: A comprehensive review of the state of the art. *Computer Vision and Image Understanding*, 249, Article 104160. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2024.104160>
- [7] Wang, J., Forbes, G., & Forbes, E. (2022). Frother characterization using a novel bubble size measurement technique. *Applied Sciences*, 12(2), Article 750. <https://doi.org/10.3390/app12020750>
- [8] Fleet, D. J., & Weiss, Y. (2006). Optical flow estimation. In N. Paragios, Y. Chen, & O. Faugeras (Eds.), *Handbook of mathematical models in computer vision* (pp. 237–257). Springer. https://doi.org/10.1007/0-387-28831-7_15
- [9] Huang, T. (2018). Traffic speed estimation from surveillance video data. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)* (pp. 161–1614).
- [10] Jávör, Z., Schreithofer, N., & Heiskanen, K. (2018). Kernel functions to flotation bubble size distributions. *Minerals Engineering*, 125, 200–205. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.06.006>
- [11] Betancourt, F., Bürger, R., Diehl, S., Gutiérrez, L., Martí, M. C., & Vásquez, Y. A. (2023). A model of froth flotation with drainage: Simulations and comparison with experiments. *Minerals*, 13(3), Article 344. <https://doi.org/10.3390/min13030344>
- [12] Sangsuwan, K., & Ekpanyapong, M. (2024). Video-based vehicle speed estimation using speed measurement metrics. *IEEE Access*, 12, 4845–4858. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3356789>

UO‘K: 669.295:622.7:669.053.4

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.9

SHEELIT KONSENTRATLARINING PARCHALANISHI, VOLFRAM BOYITMASINI KO‘MACHLASH VA TANLAB ERITISH JARAYONLARINING TEXNOLOGIK TAHLILI



**Yusupov Ural
Sadullayevich**

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



**Xasanov Adxam
Amankulovich**

*Olmaliq davlat texnika instituti, dotsent, “Konchilik ishi” kafedrasini mudiri, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: adhamhasanov122@gmail.com*



**Turobov Shahriddin
Nasritdinovich**

Dotsent, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O‘zbekiston



**Boymurodov Najmiddin
Abduqodirovich**

*Qarshi davlat texnika universiteti, t.f.f.d., PhD, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: najmiddinboy-94@mail.ru
ORCID ID: 0009-0007-7820-7799*

Annotatsiya. Mazkur maqolada sheelit konsentratlarini qayta ishlash jarayonlari – kislotali parchalash, ko‘machlash va tanlab eritish bosqichlari tahlil qilingan. Xlorid kislotasi bilan parchalashda volfram kislotasining bevosita cho‘kishi natijasida texnologik jarayon soddalashadi. Soda va selitra aralashmasida 800–900 °C da olib borilgan ko‘machlash jarayoni volframning natriy volframat ko‘rinishiga o‘tishini 98–99 % gacha ta‘minlaydi. Tanlab eritish jarayonining 80–90 °C da olib borilishi esa volframni eritmaga to‘liq ajratib olish imkonini beradi. Olingan natijalar volfram boyitmalarini qayta ishlashning samarali, tejamkor va ekologik jihatdan maqbul texnologiyasini ishlab chiqish uchun ilmiy asos yaratadi.

Kalit so‘zlar: sheelit konsentrat, volfram kislotasi, ko‘machlash, tanlab eritish, volfram trioksidi, natriy volframat, texnologik jarayon.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ РАЗЛОЖЕНИЯ ШЕЕЛИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ, СПЕКАНИЯ И ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ВОЛЬФРАМОВОГО КОНЦЕНТРАТА

**Юсупов Урал
Садуллаевич**

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

**Хасанов Адхам
Аманкулович**

Алмалыкский государственный технический институт, доцент, заведующий кафедрой «Горное дело», Алмалык, Узбекистан

**Туробов Шахриддин
Насритдинович**

Доцент, Навоийский государственный горный и технологический университет, Навои, Узбекистан

**Боймuroдов
Нажмиiddин
Абдукадирович**

Каришинский государственный технический университет, доктор философии технических наук, PhD, Кариши, Узбекистан

Аннотация. В статье проведён анализ процессов переработки шеелитовых концентратов, включая кислотное разложение, спекание и селективное выщелачивание. Показано, что при обработке концентрированной соляной кислотой вольфрамовая кислота осаждается напрямую, что упрощает технологическую схему. Спекание при 800–900 °C в смеси соды и селитры обеспечивает переход вольфрама в раствор в виде натриевого вольфрамата с извлечением до 98–99 %. Селективное выщелачивание при 80–90 °C способствует полному переводу вольфрама

в раствор. Полученные результаты позволяют рекомендовать предложенную технологическую схему как эффективный и экономичный метод переработки вольфрамсодержащих концентратов.

Ключевые слова: шеелитовый концентрат, вольфрамовая кислота, спекание, селективное выщелачивание, триоксид вольфрама, натриевый вольфрамат, технологический процесс.

TECHNOLOGICAL ANALYSIS OF THE PROCESSES OF DECOMPOSITION OF SCHEELITE CONCENTRATES, COATING AND LEACHING OF TUNGSTEN CONCENTRATE

**Yusupov Ural
Sadullaevich**

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

**Khasanov Adham
Amankulovich**

Almalyk State Technical Institute,
Associate Professor, Head of the
Department of "Mining",
Almalyk, Uzbekistan

**Turobov Shahridin
Nasritdinovich**

Docent, Navoi State Mining and
Technology University,
Navoi, Uzbekistan

**Boymurodov Najmiddin
Abdukadirovich**

Karshi State Technical University,
Doctor of Philosophy in Technical
Sciences, PhD, Karshi, Uzbekistan

Abstract. This article analyzes the processing stages of scheelite concentrates, including acid decomposition, roasting (sintering), and selective leaching. It is shown that direct precipitation of tungstic acid during hydrochloric acid decomposition simplifies the technological process. Roasting with soda and nitrate at 800–900 °C ensures the conversion of tungsten into sodium tungstate with an extraction rate of 98–99 %. Selective leaching at 80–90 °C allows nearly complete transfer of tungsten into the solution. The obtained results demonstrate that the proposed technological scheme is an efficient, cost-effective, and environmentally sound method for processing tungsten concentrates.

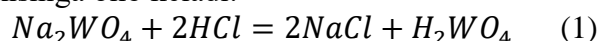
Keywords: scheelite concentrate, tungstic acid, roasting, selective leaching, tungsten trioxide, sodium tungstate, technological process.

Kirish. Sheelit konsentratlari xlorid kislotaning konsentrlangan eritmalari bilan 90–100°C haroratda nisbatan oson parchalanib, darhol texnik volfram kislotasini oladi, bunda volframning natriy volframat ko‘rinishidagi eritmaga o‘tish bosqichi chetlab o‘tiladi. Kislotali usul ishqoriy usuldan texnologik operatsiyalar sonining kamligi bilan farq qiladi. Biroq, uning qo‘llanilishi boy (75% gacha WO₃) va toza sheelit konsentratlarini qayta ishlashda eng samarali bo‘ladi. Ancha ifloslangan konsentratlarni kislotali parchalashda volfram kislotasini ikki yoki uch marta qayta tozalash zarurati tufayli usul tejamsiz bo‘lib qoladi. Sheelit konsentratlari turli xil kimyoviy ishlov berish usullari bilan belgilangan aralashmalar miqdoriga yetkaziladi. Masalan, fosfor miqdorini kamaytirish uchun sheelit konsentratlariga sovuqda xlorid kislotasi bilan ishlov beriladi. Bunda bir vaqtning o‘zida kalsit va dolomit chiqib ketadi. Mis, mishyak, vismutni yo‘qotish uchun kuydirish, so‘ngra kislotalar bilan ishlov berish va boshqa usullar qo‘llaniladi. Ferrovolfam eritishga kelayotgan konsentratlar uchun qo‘shimchalar

miqdoringin belgilangan chegaraga mos kelishi ayniqsa muhimdir. Gidrometallurgik qayta ishlash uchun ba‘zan tarkibida ba‘zi qo‘shimchalar ko‘p bo‘lgan konsentratlar ishlatiladi.

Adabiyot tahlili va metodlar. Texnik volfram kislotasining olinishi. Aralashmalardan tozalangan natriy volframat eritmasi kristall holdagi volframat kislotasi H₂WO₄ ni cho‘ktirishga yuboriladi. Volfram kislotasi bevosita cho‘ktirish yo‘li bilan yoki kalsiy volframatni cho‘ktirib, so‘ngra uni parchalash yo‘li bilan olinishi mumkin [1].

H₂WO₄ ni to‘g‘ridan-to‘g‘ri cho‘ktirish texnologik jihatdan osonroq usul hisoblanadi. Buning uchun natriy volframat eritmasini xlorid kislotasi bilan nordonlashtirish kifoya, bu esa quyidagi reaksiya bo‘yicha volfram kislotasining cho‘kishiga olib keladi:



Biroq, bu usul qiyin filtrlanadigan kolloid cho‘kmalar hosil bo‘lishi bilan birga keladi, bu esa keyingi ishlov berishni murakkablashtiradi.

Volfram trioksidi (WO₃) ning olinishi. Volfram trioksidi gidrat WO₃ · H₂O (volframat

kislota) yoki ammoniy paravolframat $(\text{NH}_4)_{10}[\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ni 500 - 800°C haroratda termik parchalab olinadi.

WO_3 olishning yana bir usuli 500°C dan yuqori haroratda kislorod atmosferasida metall volframni oksidlashdir.

Volfram kukunini olish. Ko‘pincha kukunsimon volfram olish uchun dastlabki material sifatida zarrachalarining o‘lchami o‘ndan bir ulushdan 10-15 mkm gacha bo‘lgan volfram angidridi (WO_3) ishlatiladi. Qaytaruvchi sifatida vodorod yoki qattiq uglerod (qurum) ishlatiladi.

$\text{WO}_3 \rightarrow \text{W}$ qaytarilishida to‘kma zichlikning o‘zgarishi hisobiga yuklama hajmi ikki martadan ko‘proq kamayadi. Shuning uchun tiklash ikki bosqichda amalga oshiriladi:

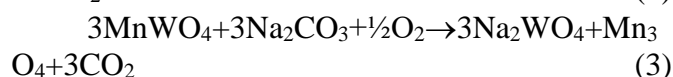
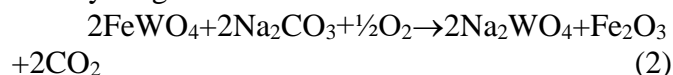
1. Birinchi bosqich - WO_3 ni WO_2 gacha qaytarish.

2. Ikkinchi bosqich - WO_2 ni W gacha qaytarish [7-8].

Jarayon mufel yoki trubali pechlarda olib boriladi. WO_3 li novchalar (qatlamning balandligi 20-50 mm) pech bo‘ylab haroratning asta-sekin ko‘tarilishi bilan harakatlanadi, vodorod esa ularga qarama-qarshi yo‘nalishda beriladi. Shunday qilib, volfram angidridi yuqori harorat va suv bug‘lari konsentratsiyasining pasayishi zonasiga harakatlanadi, bu esa uning metall volframingacha tiklanishiga yordam beradi.

Volfram minerallari konsentratlarini soda va selitra bilan ko‘machlash. Boyitmani qayta ishlash 1-rasmida keltirilgan sxema bo‘yicha olib boriladi.

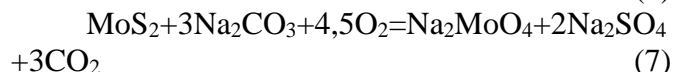
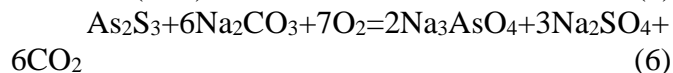
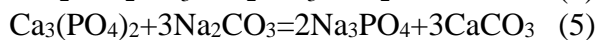
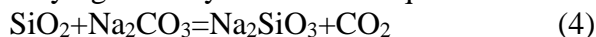
Ko‘machlash jarayonida volframit kislorod ishtirokida kalsinatsiyalangan soda bilan quyidagi reaksiyalarga kirishadi:



Reaksiyalar deyarli qaytmasdir, chunki CO_2 yo‘qotiladi va ikki valentli temir va marganes oksidlanadi. Temir va marganesni to‘liqroq oksidlash uchun shixtaga konsentrat og‘irligining 1 ÷ 4% miqdorida NaNO_3 selitra qo‘shiladi. Jarayon 800-900°C haroratda, nazariyga nisbatan 10÷15% ortiqcha soda bilan amalga oshiriladi. Konsentratning parchalanish darajasi 98-99,5%.

Volframit konsentratidagi oddiy aralashmalar

Si, P, As, Mo, Al va boshqa birikmalardir. Ular suvda eriydigan natriyli tuzlar hosil qiladi.



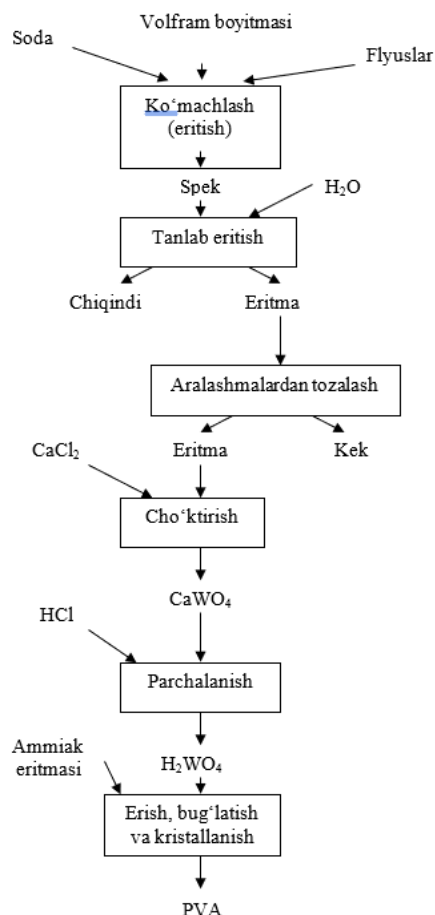
Kassiterit (SnO_2) soda bilan deyarli ta’sirlashmaydi. Temir oksidi ortiqcha soda bilan reaksiyaga kirishib, natriy ferrit hosil qiladi:



bu eritmani suv bilan ishqorlashda parchalanadi.



Reaksiyon massa (spek) xamirsimon material yoki suyuq oquvchan eritma bo‘lib, tarkibi: natriy volframat (Na_2WO_4), temir va marganes oksidlari, natriy ferrit, aralashmalarining natriyli tuzlari, ortiqcha soda, parchalanmagan volframitdan iborat [1].

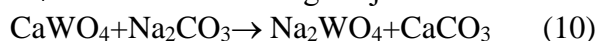


1-rasm. Volfram boyitmalarini soda bilan qo‘shib ko‘machlash usulida qayta ishlab, PVA olishning texnologik sxemasi.

Ko‘machlash davriy yoki uzluksiz ishlaydigan pechlarda olib boriladi. Davriy jarayon ishlab chiqarishning kichik miqyosida maqsadga muvofiq bo‘lib, uni kichik qaytaruvchi pechlarda olib boriladi. Katta masshtablarda uzluksiz jarayon maqsadga muvofiqdir. Uzluksiz qizdirib ko‘machlash uchun shamot bilan futerovka qilingan trubali aylanma pechlar ishlatiladi. Ushbu pechlar uchun shixta shunday tayyorlanadiki, u erimaydi va pechning futerovkasini yemirmaydi, balki bo‘laklar shaklida bo‘ladi, buning uchun shixta tarkibidagi WO_3 miqdorini taxminan 20-23% gacha kamaytiradigan miqdorda spekni tanlab eritilgandan keyin chiqindilar qo‘shiladi. Quvurli pechlarni qo‘llashning kamchiligi shixtaning chiqindilar bilan sifat-sizlanishi bo‘lib, bu pechning unumdorligini pasayishiga olib keladi. Biroq, standart aylanma pechlardan foydalanish imkoniyati va pechning uzoq muddat xizmat qilishi bu kamchilikni to‘ldiradi.

Spek bo‘laklari pechdan chiqqandan so‘ng maydalash valiklari (bo‘laklar o‘lchami 2-5 sm) dan o‘tadi, so‘ngra uzluksiz ishlaydigan ho‘l maydalash tegirmoniga tushadi, undan bo‘tana tanlab eritgichga yuboriladi.

Sheelit konsentratlarini soda va qum bilan ko‘machlash. Sheelit konsentratlarini soda bilan pishirish hatto shixtada soda miqdori sezilarli darajada ortiqcha bo‘lganda ham volframni eritmaga qoniqarli ajratib olishni ta‘minlamaydi. Ko‘machlash haroratida (800-900°C) reaksiya Na_2WO_4 hosil bo‘lish tomonga siljidi.

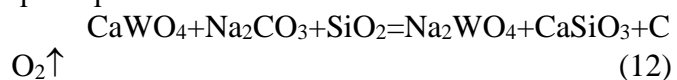


825°C dan yuqori haroratda $CaCO_3$ qisman parchalanib, CaO hosil qiladi. Natijada, keyinchalik spek suv bilan tanlab eritilganda, yana kalsiy volframat hosil bo‘ladi va cho‘kmaga tushadi.



Shixtada soda juda ko‘p bo‘lganda (3,5 marta) bu reaksiya Na_2CO_3 ning $Ca(OH)_2$ bilan o‘zaro ta‘siri natijasida sezilarli darajada bostiriladi va $CaCO_3$ hosil bo‘ladi.

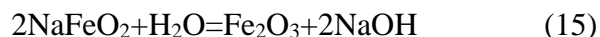
Soda sarfini kamaytirish va erkin kalsiy oksidi hosil bo‘lishining oldini olish uchun kalsiyni qiyin eriydigan silikatga bog‘lash uchun shixtaga kvarts qumi qo‘shiladi:



Shunday qilib, sheelit boyitmasini bu usulda qayta ishlashda shixta maydalangan boyitma, soda, ortiqcha kvarts qumi (50-100%) va chiqindilardan iborat bo‘ladi. Ko‘machlash volfram boyitmasiga o‘xshash uskunalarda olib boriladi.

Sodali speklarni tanlab eritish. Volframit yoki sheelit konsentratlarini qizdirib ko‘machlash olingan qizdirib ko‘machlash suv bilan ishqorlanadi (1-rasm) [2-4].

Spek suv bilan ishqorlanganda eritmaga natriy volframat Na_2WO_4 va aralashmalarning eruvchan tuzlari: natriy silikat Na_2SiO_3 , natriy fosfat va arsenat Na_2HPO_4 , Na_2HAsO_4 , natriy molibdat Na_2MoO_4 va reaksiyaga kirishmagan soda o‘tadi. Natriy ferrit parchalanib (gidrolizlanib) ishqor hosil qiladi:



Chiqindilarda temir va marganes oksidlarining oksidlari va gidratlari, parchalanmagan konsentrat, kassiterit (SnO_2) va boshqa erimaydigan aralashmalar qoladi.

Tanlab eritish davriy yoki uzluksiz ishlaydigan po‘lat apparaturada 80 - 90°C da olib boriladi. Volframni eritmaga to‘liq ajratib olish uchun ikki yoki uch bosqichli tanlab eritish qo‘llaniladi. Isitish o‘tkir bug‘ bilan amalga oshiriladi [14-16].

Uzluksiz tanlab eritish barabanli aylanuvchi tanlab eritgichlarda amalga oshiriladi. U diametri 1-1,2 m, uzunligi 2,5-3 m bo‘lgan po‘lat barabandan iborat bo‘lib, uning yon tomonlariga podshipniklarga mahkamlangan ichi bo‘sh saphali po‘lat qopqoqlar boltlar bilan mahkamlangan. Ichki qismi va qopqoqlari zirhli plitalar bilan himoyalangan. Baraban reduktor orqali elektr dvigateldan aylanadi. Ishqorsizlantirgich gorizontol holatda ikkita tayanchga o‘rnatilgan. Tanlab eritishni tezlashtirish va bir vaqtning o‘zida maydalash uchun barabanga diametri 40-80 mm bo‘lgan po‘lat sterjenlar joylashtiriladi. Yuklash saphasi orqali issiq kuyundi va suv uzluksiz kelib turadi. Bo‘tanani bo‘shatish saphasi orqali uzluksiz chiqarib tashlanadi. Eritmaga 98-99% volfram Na_2WO_4 ko‘rinishida ajratib olinadi, eritmada volfram uch oksidi miqdori taxminan 190-270 g/l. So‘ngra eritma filtrlashga yuboriladi.

Davriy tanlab eritishda filtrlash nutch-filtrlarda, filtr-presslarda amalga oshiriladi. Uzluksiz

siz jarayonda vakuum filtrlar (diskli, barabanli, lentali) qo'llaniladi. Quruq ag'darmalar og'irligi dastlabki boyitma og'irligining 30-40% ni tashkil etadi. Chiqindi tarkibidagi WO_3 miqdori 1,5-2%, WO_3 miqdori >2% bo'lgan chiqindilar ko'machlash shixtasini tayyorlashga qaytariladi.

Muhokama. Yuqoridagi o'rganilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, sheelit konsentratlarini qayta ishlashda tanlangan texnologik yo'nalish - kislotali parchalash, ko'machlash va tanlab eritish bosqichlarining ketma-ketligi volframni yuqori darajada ajratib olish imkonini beradi. Xlorid kislotasi bilan parchalash jarayonida volfram bevosita texnik volfram kislotasi (H_2WO_4) shaklida cho'kadi, bu esa oraliq natriy volframat hosil bo'lish bosqichini chetlab o'tish imkonini beradi. Ushbu usulning asosiy afzalligi texnologik operatsiyalar sonining kamayishi va jarayon tezligining oshishidir. Biroq, kislotali parchalashning samaradorligi faqat yuqori tozalikdagi (75% gacha WO_3) konsentratlarda yuqori natija beradi. Tarkibida aralashmalar ko'p bo'lgan konsentratlar uchun qo'shimcha tozalash va qayta cho'ktirish bosqichlari zarur bo'ladi.

Ko'machlash jarayonida soda va selitra aralashmasining qo'llanishi volframit va sheelitdagi volframni natriy volframat (Na_2WO_4) shaklida eritmaga o'tkazish uchun samarali hisoblanadi. Olingan natijalar 800–900 °C haroratda kalsinatsiya jarayonining eng maqbul bo'lishini ko'rsatdi, bunda volframning eritmaga o'tish darajasi 98–99,5% gacha yetadi. Selitra qo'shimchasi temir va marganesning yuqori oksidlanish holatiga o'tishini ta'minlab, jarayonni to'liqroq yakunlanishiga yordam beradi. Biroq yuqori haroratda soda ortiqcha sarfi pech unumdorligining pasayishiga olib kelishi mumkin, shu sababli optimal miqdor 10–15% ortiqcha nisbatda tavsiya etiladi.

Tanlab eritish bosqichi volframning natriy volframat shaklidan eritmaga o'tishida muhim rol o'ynaydi. Ishqoriy eritish jarayoni 80–90°C da olib borilganda, volframning eritmaga o'tish darajasi 98–99% ni tashkil etdi. Davriy tanlab eritish texnologiyasi kichik ishlab chiqarish sharoitlarida qo'llanilsa, uzluksiz barabanli eritgichlar yirik miqyosda yuqori unumdorlik va doimiy sifatni ta'minlaydi. Shuningdek, tanlab eritish jarayonida hosil bo'ladigan chiqindilarda WO_3 miqdori 1,5–2% dan oshmagan holatlarda texnologiya iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Olingan natijalar sheelit va volframit konsentratlarini qayta ishlashda har bir bosqichning o'zaro bog'liqligini va optimallashtirilgan sharoitlarda kompleks texnologik tizimni qo'llash zarurligini ko'rsatadi. Kislotali parchalashning tozaligi, ko'machlashda qo'shimchalarning nazorati va tanlab eritishda harorat rejimining barqarorligi volframni yuqori darajada ajratib olish va yakuniy mahsulot sifatini oshirishda hal qiluvchi omillar hisoblanadi.

Xulosa. O'tkazilgan tahlillar shuni ko'rsatdiki, sheelit konsentratlarini qayta ishlashda kislotali parchalash, ko'machlash va tanlab eritish bosqichlarini uyg'unlashtirish volframni samarali ajratib olish imkonini beradi. Xlorid kislotasi bilan parchalash oraliq bosqichlarni qisqartirib, jarayonni soddalashtiradi. Soda va selitra bilan ko'machlashda volframning eritmaga o'tish darajasi 98–99% gacha yetadi. Tanlab eritish jarayonining optimal harorati 80–90°C bo'lib, bu sharoitda texnik volfram kislotasi va natriy volframatning tozaligi yuqori darajada ta'minlanadi. Umuman olganda, taklif etilgan texnologik zanjir volfram boyitmalarini qayta ishlashning kompleks, tejamkor va ekologik jihatdan maqbul usuli sifatida tavsiyaviy xarakterga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Никифоров, К. А., & Золтоев, Е. В. (1986). Получение искусственного вольфрамового сырья из низкосортных гюбнеритовых промпродуктов обогатительной фабрики. Комплексное использование минерального сырья, (6), 62–65.
- [2] Лагов, Б. С., & Башлыкова, Т. В. (2002). Научные основы и практика разведки и переработки руд и техногенного сырья с извлечением благородных металлов. В Трудах международной научно-технической конференции (12–15 ноября 2002 г., ч. 3, сс. 54–59). Екатеринбург: Уральская Государственная Горно-Геологическая Академия.
- [3] Туробов, Ш. Н., Боймуродов, Н. А., Хужакулов, А. М., & Султонов, Ш. А. (2025). Основные принципы процесса аппаратного выделения вольфрама в автоклавах в металлургической промышленности. *Universum: технические науки*, 2(3(132)), 15–20.

- [4] Хасанов, А. А., Туробов, Ш. Н., Боймуродов, Н. А., & Хужакулов, А. М. (2024). Современные методы обогащения вольфрамовых руд для повышения эффективности добычи. *Universum: технические науки*, 2(10(127)), 24–27.
- [5] Шодиев, А., Боймуродов, Н., Хужакулов, А., Равшанов, А., & Нарзуллаев, М. (2024). Исследование и обоснование технологии получения полуфабрикатов и вольфрама в металлическом виде из промышленных отходов. *Молодые ученые*, 2(1), 107–112.
- [6] Пирматов, Э. А., Шодиев, А. Н. У., & Боймуродов, Н. А. (2023). Изучение растворимых форм вольфрама и условий кристаллизации шеелита и вольфрамита. *Universum: технические науки*, (11-2(116)), 15–19.
- [7] Туробов, Ш. Н., Боймуродов, Н. А., & Хужакулов, А. М. (2025). Анализ геолого-минералогических и экономических потенциалов для дальнейшей разработки вольфрамовых руд месторождения Ингичка. *Universum: технические науки*, 7(4(133)), 26–30.
- [8] Gürmen, S., Timur, S., Arslan, C., & Duman, I. (1999). Acidic leaching of scheelite concentrate and production of hetero-poly-tungstate salt. *Hydrometallurgy*, 51, 227–238. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(98\)00080-2](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(98)00080-2)
- [9] Orefice, M., et al. (2021). Solvometallurgical process for the recovery of tungsten from scheelite. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c03872>
- [10] Li, J., et al. (2020). Sustainable and efficient recovery of tungsten from scheelite-wolframite via sulfuric/phosphoric acid systems. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c04216>
- [11] Alguacil, F. J., et al. (2025). Strategies for the recovery of tungsten from wolframite and scheelite. *Metals*, 15(8), 819. <https://doi.org/10.3390/met15080819>
- [12] Hasanov, A., Vokhidov, B., Babaev, M., Mamaraimov, G., & Yandashev, A. (2024). New technologies for processing tailings of a copper processing plant for the extraction of platinoids. *Acta Innovations*, 52, 51–59.
- [13] Khasanov, A. S., & Tolibov, B. I. (2018). Feasibility of sulfide material oxidation in intense roasting furnace. *Gornyi Zhurnal*, 85–89.
- [14] Khasanov, A. S., & Atakhanov, A. S. (2003). Rise of complex processing of copper and zinc raw materials at Almalyk Mining and Metallurgical Works. *Tsvetnye Metally*, 33–35.
- [15] Khasanov, A. S., Sanakulov, K. S., & Atakhanov, A. S. (2003). Process flow sheet of complex processing of slag from Almalyk mining-and-metallurgical unit. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy Tsvetnaya Metallurgiya*, 9–12.
- [16] Khojakulov, A., Ruziyev, U., Boymurodov, N., Shernazarov, I., Mashaev, E., & Shoyimova, K. (2024). Research and determination of parameters for extracting valuable components from technological waste. *BIO Web of Conferences*, 149, 01049. EDP Sciences.
- [17] Shodiev, A., Boymurodov, N., & Ravshanov, A. (2023). Study of the technology for extracting tungsten in the form of a semi-finished product and metallic form from industrial waste. *Sanoatda raqamli texnologiyalar / Цифровые технологии в промышленности*, 1(2), 87–91.
- [18] Xasanov, A. S., Boymurodov, N. A., & Xo'jakulov, A. M. (2025). Metallurgiya sanoati chiqindilari tarkibidan mass-spektrometrdagi volframni ajralishi metodikasi ilmiy tahlili. *International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences*, 6(1), 60–67.
- [19] Turbobov, S. N., Boymurodov, N. A., & Xo'jakulov, A. M. (2024). Texnogen chiqindilardan volframni chuqur boyitish texnologik usullari va samaradorligini tadqiq qilish. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 2(4-1), 26–30. <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.2.4-1.2024.12>

UO‘K: 662.7

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.29

OLTIN SAQLOVCHI RUDALARNI EKOLOGIK JIHATDAN XAVFSIZ

QAYTA ISHLASH IMKONIYATLARI



Aripov Avaz Rozikovich

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O'zbekiston
E-mail: avaz.aripov.82@bk.ru
ORCID ID: 0000-0002-0428-507X



Sayfullayev Farruxjon Ibodovich

Assistant, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O'zbekiston
E-mail: farruxsayfullayev96@mail.ru
ORCID ID: 0009-0005-0641-1956



Qurbonov Mehrob Nuriddinovich

Assistant, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O'zbekiston
E-mail: mehrobqurbonov99@gmail.com
ORCID ID: 0009-0000-4897-9455



Jabborova Surayyo G'ulomovna

Assistant, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O'zbekiston
E-mail: jabborovasurayyo22@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqola natriy sulfid va natriy gidroksid saqlagan eritmada oltin tarkibli tetraedrit boyitmalarini ishqoriy tanlab eritishga qaratilgan. Bunday tanlab eritish og'ir va qo'shimcha metallarni eritmaga o'tkazish bilan davom etadi, bu esa tanlab eritish mahsulotining fizik xususiyatlari va sifatiga ta'sir qilishi, shuningdek, atrof-muhitning ifloslanishiga olib kelishi mumkin. Natriy sulfidi tetraedritni o'z ichiga olgan sulfid minerallarga juda samarali ta'sir ko'rsatadi, natriy gidroksidi esa eritish jarayonini sekinlashtiruvchi oltingugurtning gidrolizini bartaraf etadi. Tanlab eritish kinetikasi besh soat davomida o'tkazildi. Uchta namunadan ma'lum vaqt oralig'ida hajmiy namunalar olinib, NaOH bilan tanlab eritish samaradorligi baholash uchun atom-absorbtsion spektrometriya usulida tekshirildi.

Kalit so'zlar: oltin, tetraedrit, gidrometallurgiya, tanlab eritish, og'ir metallar, atrof-muhit.

ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД

Арипов Аваз Розикович

Доктор философии (PhD) по техническим наукам, Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

Сайфуллаев Фаррухжон Ибодович

Ассистент, Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

Курбонов Мехроб Нуриддинович

Ассистент, Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

Джабборова Сурайё Гуламовна

Ассистент, Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

Аннотация. Данная статья посвящена селективному щелочному выщелачиванию золотосодержащих тетраэдритовых концентратов в растворе, содержащем сульфид натрия и гидроксид натрия. Такое селективное выщелачивание сопровождается переходом тяжелых и примесных металлов в раствор, что может повлиять на физические свойства и качество продукта выщелачивания, а также привести к загрязнению окружающей среды. Сульфид натрия очень эффективно воздействует на сульфидные минералы, содержащие тетраэдрит, а гидроксид натрия предотвращает гидролиз серы, замедляющий процесс растворения. Кинетика выщелачивания изучалась в течение пяти часов. Объемные пробы отбирались из трех образцов через определенные промежутки времени и исследовались методом атомно-абсорбционной спектроскопии для оценки эффективности селективного выщелачивания с использованием NaOH.

Ключевые слова: золото, тетраэдрит, гидрометаллургия, селективное выщелачивание, тяжёлые металлы, окружающая среда.

POSSIBILITIES OF ENVIRONMENTALLY SAFE PROCESSING OF GOLD-CONTAINING ORES

Aripov Avaz Rozikovich

Doctor of Philosophy (PhD) in
Engineering Sciences, Navoi State
University of Mining and
Technology, Navoi, Uzbekistan

**Sayfullaev Farrukhjon
Ibodovich**

Assistant, Navoi State Mining and
Technological University,
Navoi, Uzbekistan

**Kurbonov Mekhrob
Nuriddinovich**

Assistant, Navoi State Mining and
Technological University,
Navoi, Uzbekistan

**Jabbarova Surayo
Gulamovna**

Assistant, Navoi State Mining and
Technological University,
Navoi, Uzbekistan

Abstract. This article focuses on the selective alkaline leaching of gold-bearing tetrahedrite concentrates in a solution containing sodium sulfide and sodium hydroxide. This selective leaching process is accompanied by the transfer of heavy metals and impurities into the solution, which can affect the physical properties and quality of the leaching product, as well as lead to environmental pollution. Sodium sulfide is highly effective in acting on sulfide minerals containing tetrahedrite, while sodium hydroxide prevents sulfur hydrolysis, which would otherwise slow down the dissolution process. The leaching kinetics were studied over a five-hour period. Bulk samples were taken from three specimens at specific time intervals and analyzed using atomic absorption spectrometry to evaluate the effectiveness of selective leaching with NaOH.

Keywords: gold, tetrahedrite, hydrometallurgy, selective leaching, heavy metals, environment.

Kirish. Oltin ishlab chiqarish mavzusi hanuzgacha dolzarb hisoblanadi. Ko'plab mamlakatlarda oltin ishlab chiqarishga bo'lgan qiziqish ortib bormoqda, ammo bu jarayon atrof-muhitga katta ta'sir ko'rsatadi. Oltin tarkibli rudalarni qazib olish, qayta tiklash, qayta ishlash va ekstraksiya qilish jarayonlari xavfli kimyoviy moddalarni ko'p sarflashga va og'ir metallarga boy chiqindilar hosil bo'lishiga olib keladi. Bu chiqindilar nazoratsiz ravishda tarqalib, ekotizimni keng miqyosda ifloslantiradi. Shu sababli, butun jarayonni zamonaviy toksikologiya bilimlari, tamoyillar va atrof-muhit standartlariga asoslangan global yo'riq-nomalar orqali ehtiyotkorlik bilan tartibga solish zarur. Shu asosda, sianlasah jarayonida alternativ usullar izlanmoqda; garchi sianlash jarayoni juda samarali bo'lsa-da, u atrof-muhitni himoya qilish talablariga javob bermaydi. Maqsad - toksik moddalarni chiqindilarga kirishining oldini olish va atrof-muhitga ta'sirini minimal darajaga tushirish. Oltin tarkibli xomashyoni qayta ishlash uchun mos usulni tanlash, tabiiy oltin va minerallar bilan bog'langan oltin nisbati bilan belgilanadi. Har bir komponentning zichligi turlicha bo'lganligi sababli, og'irlik (gravitatsion) usullar tabiiy oltinni ajratib olish uchun mos hisoblanadi. Minerallar bilan

bog'langan oltinni ajratib olish uchun esa kimyoviy ishlov berish usullari qo'llaniladi, jumladan: amalgamatsiya, sianlash va boshqa reagentlar bilan ishlash, shuningdek, fizik va kimyoviy usullarini birlashtirgan qayta ishlash usullari, masalan, flotatsiya. Ushbu oltin tarkibli ruda va boyitmalarni qayta ishlash usullari bevosita atrof-muhitga ta'sir ko'rsatadi. Hozirgi texnologik yutuqlarga qaramay, ishlab chiqarish jarayonida katta miqdorda chiqindilar hosil bo'ladi. Shu asosda, atrof-muhit xavfini kamaytirish va inson salomatligiga ta'sirni cheklash maqsadida barcha mamlakatlarda amal qilinishi lozim bo'lgan global mezonlar mavjud [1-2].

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Oltin tarkibli rudalarni gidrometallurgik qayta ishlash - oltin ajratib olish jarayonida ishlatiladigan muhim usullar guruhini tashkil etadi va bu usul rudalar, boyitmalar hamda qayta ishlanadigan yoki qoldiq materiallardan metallarni suvli eritmalar yordamida tiklashni o'z ichiga olgan bir nechta asosiy jarayonlarning kombinatsiyasidan iborat. Gidrometallurgiya jarayoni odatda to'rt umumiy bosqichga bo'linadi: eritish, boyitilgan eritma olish, eritmani tozalash va metallarni tiklash. Keyingi bosqichda chiqindilar ajratilib, eritma tozalanadi. So'ngra,

eritmadan metall yoki metall birikmalari kimyoviy yoki elektrolitik usullar orqali ajratib olinadi. Eng ko'p ishlatiladigan reagentlarga NaCN, suyultirilgan H₂SO₄, NaOH va boshqalar kiradi [3].

Eritish – bu oltin tarkibli xomashyoda mavjud oltinning eritmaga o'tishi jarayoni yoki aksincha, oltin xomashyoda qolib, faqat kerak bo'lmagan metallar yoki zararli aralashmalar eritib olinadigan jarayondir. Eritish metall ajratish jarayonining asosiy usuli bo'lib, unda qimmatbaho metallni o'z ichiga olgan material bilan to'g'ridan-to'g'ri kontaktga kiradigan kislotali yoki ishqorli eritmalar qo'llaniladi. Eritish jarayonida hal qiluvchi parametrlar - bu tiklanish potentsiali, eritmaning pH ko'rsatkichi va harorat, odatda ular kerakli metallning erituvchi bilan aloqasini optimallashtirish maqsadida sozlanadi. Eritish jarayoni pirometallurgik usulga nisbatan sezilarli darajada kamroq toksik bo'lib, eritish jarayonida gazlar va chang hosil bo'lmasligi orqali atrof-muhitni ifloslantirmaydi. Oltin uchun to'g'ri eritish jarayonini tanlash rudaning tuzilishi, mineralogik tarkibi, kimyoviy talablar, eritish texnikalari va atrof-muhitni boshqarish talablariga bog'liq. Gidrometallurgiyada asosan ishqoriy, neytral va kislotali muhitlarda eritish amalga oshiriladi. Barcha tizimlarda oltinni eritish uchun oksidlovchi vosita va eritmada oltin bilan kompleks hosil qiluvchi ligand talab qilinadi. Shuningdek, pH-ni sozlash odatda zarur bo'ladi [4].

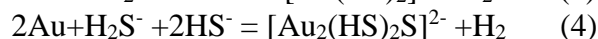
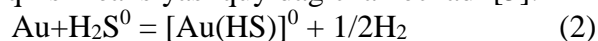
Sianid o'rniga mos alternativ sifatida tiomachevinali eritish qo'llaniladi. Kislotali eritmada tiomachevina oltinni eritib, kompleks birikma hosil qiladi. Katalizator sifatida temir (III) sulfat qo'shilishi oltinning oksidlanishini kuchaytiradi. Reaksiya quyidagi tenglama bo'yicha sodir bo'ladi:



Tiomachevinada oltinni eritish sianidga nisbatan tezroq amalga oshadi, ammo eritish jarayonida tiomachevinaning sarfi juda ko'p bo'ladi, chunki u eritmada tez oksidlanadi. Laboratoriya tajribalari ushbu reagentnidan foydalanilganda ishlab chiqarish xarajatlarining oshishiga olib kelgan. Shuningdek, uning atrof-muhitga ta'siri bo'yicha izohlar mavjud. Tiomachevina sianidga nisbatan kamroq toksikligi ta'kidlangan bo'lsa-da, ehtiyotkorlik bilan ishlatilishi lozim.

Sianidga mos keladigan boshqa reagentlar

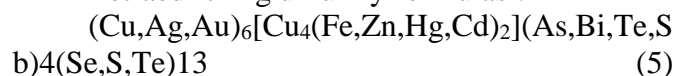
sifatida sulfid, bisulfit va vodorod sulfidi bilan eritish qo'llanilishi mumkin. Tiomachevina va tiosulfatdan tashqari oltingugurt asosidagi reagentlar - sulfidlari, bisulfidlari, vodorod sulfidi (yoki oltingugurt dioksidi) va polisulfidlar hisoblanadi. Ushbu reagentlarning amaliy qo'llanilishida faqat bisulfit va vodorod sulfidi samarali hisoblanadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, oltinning eruvchanligi vodorod sulfidi (H₂S) konsentratsiyasi oshishi bilan ortadi. Shu sababli, oltin eruvchan bo'lishi uchun eritmada oltingugurt mavjud bo'lishi va eritmaning pH ko'rsatkichi oltingugurtning sulfid shaklida saqlashga mos bo'lishi zarur ya'ni kislotalik. Asosiy uchta bisulfit kompleksi mavjud: Au(HS)₀, Au(HS)₂ va Au₂(HS)₂S₂. Oltin va bisulfidlar kompleks hosil qilish reaksiyasi quyidagicha kechadi [5]:



Shu bilan 50 °C haroratda oksidlovchi vosita qo'shilmadan sulfidli boyitmadan oltinni 90% gacha erishish mumkin. Tanlab eritish jarayonini samarali amalga oshirish uchun nisbatan yuqori konsentratsiyadagi polisulfid talab etiladi. Tiosulfat va polisulfid aralashmalarida, agar boshqa oksidlovchi vositalar mavjud bo'lmasa, polisulfidlar faqat eritish reagenti sifatida ishlaydi. Masalan, mis mavjudligida, polisulfidlar mis bilan reaksiyaga kirib CuS hosil qiladi.

Tetraedrit – bu surma, mishyak, mis, kumush, oltin yoki temir, simob, rux va boshqa metallarni o'z ichiga olgan murakkab sulfid birikma hisoblanadi.

Tetraedritning umumiy formulasi:



U tetraedritlar guruhiga kiruvchi minerallar ichida asosiy namunasi sifatida qaraladi va tarkibidagi element miqdoriga qarab nomlanadi. Tabiatda uchraydigan tetraedritlar asosan mis va surma tarkibli bo'ladi. Agar tarkibida mishyak va surma miqdori yuqori bo'lsa, bunday mineralga tetraedrit-tenantit deyiladi, agar kumush miqdori yuqori bo'lsa, unga tetraedrit-freybergit nomi bilan ataladi. Simob (Hg) miqdori 17% dan, vismut (Bi) - 4% dan, shuningdek temir, qo'rg'oshin va nikel miqdori yuqori bo'lgan tetraedritlarning o'ziga xos nomlari mavjud. Bundan tashqari, tetraedrit tarkibida rux (Zn) 8% gacha yoki kadmiy (Cd) 2% gacha bo'lishi mumkin.

Natijalar. Namunalar eritishdan oldin ishqorli muhitda oldindan ishlov berildi. Tajriba uchun biz oltin tarkibli tetraedrit flotatsiya boyitmasini oldik. Flotatsiya jarayonidan keyin ushbu boyitmada mavjud bo'lgan elementlarning miqdori 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Tetraedrit boyitmasidagi elementlar tarkibi
(Atom-absorbsion spektroskopiya usuli bo'yicha)

Cu (%)	Ag (g/t)	Au (g/t)	Fe (%)	Sb (%)	As (%)	Bi (%)	Hg (%)	Co (%)	Cr (%)
1,7-3,6	4001-7060	4-11	7-9	13-15	0,7-0,8	0,3-0,5	0,7-0,8	0,2-0,3	0,06-1,2

Sulfidlardan mis, surma, mis va temir kabi boyitmalarni ishqorli tanlab eritish rejimini yaratish uchun natriy gidroksid va natriy sulfid ishlatildi. Natriy sulfid 134 ml hajmda 1,13 M konsentratsiyada, natriy gidroksid esa turli molyar konsentratsiyalarda (0,74; 1,4 va 1,7 M) 363 ml hajmda ishlatildi. Natijada hosil bo'lgan eritma hajmi 500 ml ni tashkil etdi. Tetraedrit namunalarning og'irligi 4 g. Har bir tajribada 35 ml hajmli suyuqlik namunasi turli vaqt intervallarida olingan: 30 daqiqa, 1 soat, 2 soat, 3 soat, 4 soat va 5 soat. Tanlab eritishdan so'ng, turli konsentratsiyadagi natriy gidroksid bilan 5 soat davomida tanlab eritish jarayonidan olingan eritmaning qolgan hajmi filtrlanib, quritildi.

Suyuqlik namunalari atom-absorbsion spektrometriya usuli bilan tahlil etildi. Suvli eritmadagi og'ir metallarning miqdori AAS (MGA-915 Grafit pechli atom -absorbsion spektrometr) yordamida o'lchandi (1-rasm).



1-rasm. MGA-915 Grafit pechli atom -absorbsion spektrometr.

Qattiq namunalar (boyitmalarni tanlab eritish jarayonidan olingan filtrat) yuqori aniqlikdagi skanerlovchi elektron mikroskop Apreo 2S LoVac (2-rasm) yordamida o'rganildi. Bunda asosiy maqsad – tanlab eritish jarayonida erimay qolgan minerallar miqdorini aniqlash uchun ishlatildi.



2-rasm. Yuqori aniqlikdagi skanerlovchi elektron mikroskop Apreo 2S LoVac.

Birinchi tajribada 4 g tetraedrit konsentrat namunasi ishlatilgan bo'lib, u 500 ml hajmdagi eritmada eritildi, bunda 134 ml 1,14 M Na₂S va 366 ml 0,74 M NaOH eritmasi ishlatildi. Eritish jarayonida 40 ml hajmdagi namuna ma'lum vaqt intervallarida ajratib olindi. 2-jadvalda eritish kinetikasi ko'rsatilgan bo'lib, unda metallarning vaqt davomida erish miqdorini aks ettiradi.

2-jadval

0,74 M NaOH konsentratsiyali eritmada elementlarning erish kinetikasi

Komponent	0,74 M NaOH mg /l							
	Vaqt							
	0,5	1	2	3	4	5	12	24
Sb	2,32	2,31	3,07	2,68	3,24	6,68	3,53	7,78
As	6,80	7,50	8,65	9,38	10,32	11,67	12,94	21,38
Cu	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,07	0,07
Fe	0,05	0,08	0,18	0,14	0,13	0,13	0,28	0,28

Ikkinchi tajribada 4 g tetraedrit boyitmasi namunasi ishlatilgan bo'lib, u 500 ml hajmdagi eritmada eritilgan, bunda 134 ml 1,15 M Na₂S va 364 ml 1,4 M NaOH mavjud edi. Eritish jarayonida 35 ml hajmdagi namuna ma'lum vaqt oralig'ida ajratib olindi. 3-jadvalda eritish kinetikasi ko'rsatilgan bo'lib, unda metallarning vaqt davomida erish miqdorini aks ettiradi.

3-jadval

1,4 M NaOH konsentratsiyali eritmada elementlarning erish kinetikasi

Komponent	1,4 M NaOH mg /l							
	Vaqt							
	0,5	1	2	3	4	5	12	24
Sb	3,32	4,25	4,07	4,68	4,24	4,68	9,53	22,78
As	11,80	11,50	13,65	15,38	16,32	17,67	20,94	51,38
Cu	0,04	0,03	0,6	0,04	0,04	0,09	0,07	0,08
Fe	0,10	0,13	0,18	0,2	0,2	0,13	0,28	0,4

Uchinchi tajribada 4 g tetraedrit konsentrat

namunasi ishlatilgan bo'lib, u 500 ml hajmdagi eritmada eritilgan, bunda 132 ml 1,15 M Na₂S va 368 ml 1,9 M NaOH mavjud edi. Eritish jarayonida 35 ml hajmdagi namuna vaqt oralig'ida ajratib olindi. 4-jadvalda eritish kinetikasi ko'rsatilgan bo'lib, unda metallarning vaqt davomida erish miqdorini aks ettiradi.

4-jadval

1,9 M NaOH konsentratsiyali eritmada elementlarning erish kinetikasi

Komponent	1,9 M NaOH mg/l							
	Vaqt							
	0,5	1	2	3	4	5	12	24
Sb	3,33	4,20	4,41	4,54	4,34	5,07	9,44	14,60
As	9,80	14,50	14,65	16,38	19,32	21,67	55,94	66,38
Cu	0,06	0,07	0,03	0,08	0,06	0,02	0,05	0,02
Fe	0,05	0,07	0,07	0,08	0,13	0,19	0,44	0,48

Muhokoma. Metall ishlab chiqarish jarayonlari, xususan oltin va boshqa qimmatbaho metallarni qazib olish va qayta ishlash, atrof-muhitga sezilarli salbiy ta'sir ko'rsatadi. Ushbu jarayonlarda ishlatiladigan kimyoviy moddalar, xususan natriy sianid, tiomochevina, natriy sulfid, kislotali va ishqorli eritmalar, suv, tuproq va havoni ifloslantirishi mumkin. Eritish jarayonlari natijasida hosil bo'lgan og'ir metallarga boy chiqindilar (Mishyak, surma, mis, qo'rg'oshin va boshqalar) nazoratsiz tarzda atrof-muhitga tarqalib, ekotizimga zarar yetkazadi.

Hozirgi tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, tanlab eritish texnologiyasining turi va reagentlarning konsentratsiyasi chiqindilarning toksikligini belgilaydi. Masalan, Na₂S va NaOH ishlatilgan ishqoriy tanlab eritish jarayonlarida mishyak, surma va misning erishi nazorat qilinmasa, suv resurslari va

tuproq ifloslanadi. Shu bilan birga, atom - absorpsion spektrometr (AAS) va yuqori aniqlikdagi skanerlovchi elektron mikroskop (Apreo 2S LoVac) tahlillari natijalari shuni ko'rsatdiki, qattiq qoldiqlarda ham og'ir metallar to'planib, keyinchalik ularning erishi mumkinligi atrof-muhit xavfini oshiradi.

Xulosa. Ushbu tadqiqotning maqsadi boyitma tarkibidagi zararli metallarni (Sb, As, Fe va Cu) eritmaga o'tkazish va eritish jarayoni qattiq qoldig'i tarkibidagi oltin miqdorini oshirishdan iborat edi. Maqolada keltirilgan natijalarni shunday baholashimiz mumkin, natriy gidroksid konsentratsiyasining oshirilishi tetraedrit minerali uchun samarali erituvchi reagent sifatida mos keladi va sanab o'tilgan metallarni eritmaga samarali o'tkaza oladi, natijada oltin konsentratsiyasi ortadi.


Tanlab eritish jarayoni ichida 3-namunada metallarning eritmaga o'tish darajasi yuqori ekanligini ko'rsatdi, bunda eritma 1.15 M Na₂S va 1.9 M NaOH dan iborat edi.

Shunday qilib, ishqoriy eritmaga o'tkazish bo'yicha nazariy bilimlar yordamida kutilgan natijaga erishish mumkin bo'ldi. Ushbu tajribalar yordamida sianlash va ishqoriy eritmaga tanlab eritish bilan almashtirish mumkin bo'ldi, bu esa oltinni ajratib olish va og'ir metallarni eritmaga o'tkazish bo'yicha kutilgan samarali natijani berdi. Ishqoriy tanlab eritish usuli tozalovchi vazifasini bajardi, bunda oltin qattiq qoldiq (kek)da qoldi, uning konsentratsiyasi oshdi va og'ir metallar eritma tarkibiga o'tkazildi. Shu bilan birga, atrof-muhit muhofazasi ham ta'minlandi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Fuzaylov, O. U., Sayfullayev, F. I., Majidova, I. I., & Jabborova, S. G'. (2022). Исследование способов интенсификации процесса обжига сульфидных золотосодержащих концентратов с применением микроволнового излучения. *Journal of Advances in Science and Engineering Technology*, 2(6).
- [2] Aripov, A. R., Fuzaylov, O. U., Sayfullayev, F. I., & Qurbonov, M. N. (2023). Murakkab oltin tarkibli ruda va konsentratlarning maydalanish va sianlanish qobiliyatini yaxshilash uchun mikroto'liqlik energiyadan foydalanish. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, (2).
- [3] Aripov, A. R., Sayfullayev, F. I., Qurbonov, M. N., & Jabborova, S. G'. (2025). Murakkab tarkibli xom-ashyolardan qimmatbaho metallarni ajratib olish jarayonida gidrometallurgik usullarning ilmiy asoslari va amaliy qo'llanilishi. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 3(1).
- [4] Sayfullayev, F. I., & Nurmurotova, Sh. O. (2025). Применение комбинированных методов в процессе извлечения драгоценных металлов из сырья упорного состава. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 3(2).

UO‘K: 553.492.6:622.765

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.12

GO‘SHSOY KONI ALUNIT MA‘DANI TEXNOLOGIK NAMUNALARINING FLOTATSION BOYITILUVCHANLIGINI TADQIQ QILISH



**Almatov Ilxomjon
Mirzabek o'g'li**

*Texnika fanlari doktori, katta ilmiy
xodim, "Mineral resurslar instituti",
DM markaz mudiri,
Toshkent, O'zbekiston
E-mail: ilkhom90@list.ru
ORCID ID: 0000-0002-6614-9487*



**Bekpulatov Javlon
Mustafokuliyevich**

*Texnika fanlari doktori, dotsent,
Islom Karimov nomidagi Toshkent
davlat texnika universiteti kafedra
mudiri, Toshkent, O'zbekiston
E-mail:
bekpulatovzavlon@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-8160-2120*



**Alimov Dilshod
Shirinkulovich**

*Islom Karimov nomidagi Toshkent
davlat texnika universiteti tayanch
doktoranti, Toshkent, O'zbekiston
E-mail: d.alimov1989@gmail.com
ORCID ID: 0009-0009-9295-412X*

Annotatsiya. Ushbu maqolada Go'shsoy koni alunit ma'danlarini flotatsiya usulida boyitishda optimal sharoitlarni aniqlash bo'yicha olib borilgan tadqiqot natijalari keltirilgan. Tadqiqotlar davomida alunitning flotatsion ajralish samaradorligiga yanchilish darajasi, ishqoriy muhitning pH qiymati va reagentlar sarfining ta'siri o'rganildi. Tajribalar natijasida optimal texnologik sharoitlar sifatida 85% -0,074 mm yanchilish darajasi, pH=10 ishqoriy muhit, natriy oleat sarfi 500 g/t va tall yog'i sarfi 500 g/t miqdorida aniqlandi. Yig'uvchi reagentni ketma-ket berish va ko'pikni alohida yig'ish sxemasi asosida o'tkazilgan flotatsiya natijasida umumiy boyitmada alunitning ajralish darajasi 94,3% ni tashkil etdi. Shuningdek, yopiq siklda olib borilgan flotatsiya jarayonlari natijasida boyitmadagi alunit miqdori 60,97% gacha, ajralish darajasi esa 87,48% gacha oshirildi. Olingan natijalar tahlil qilinib alunit ma'danlarini samarali boyitish texnologiyasini ishlab chiqish bo'yicha tavsiyalar berildi.

Kalit so'zlar: Alunit, Go'shsoy koni, flotatsiya, alunit konsentrati, flotatsiya sxemasi.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛОТАЦИОННОЙ ОБОГАТИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБ АЛУНИТОВОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГУШСАЙ

**Алматов Илхомжон
Мирзабек угли**

*Доктор технических наук,
старший научный сотрудник,
заведующий центром ГУ
«Институт минеральных
ресурсов», Ташкент, Узбекистан*

**Бекпulatов Жавлон
Мустафокулиевич**

*Доктор технических наук,
доцент, заведующий кафедрой
Ташкентского государственного
технического университета
имени Ислама Каримова,
Ташкент, Узбекистан*

**Алимов Дилшод
Ширинкулович**

*Базовый докторант
Ташкентского государственного
технического университета
имени Ислама Каримова,
Ташкент, Узбекистан*

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследований по определению оптимальных условий флотационного обогащения алунитовых руд месторождения Гушсай. В ходе исследований было изучено влияние степени измельчения, pH щелочной среды и расхода реагентов на эффективность флотационного извлечения алуниита. В результате экспериментов оптимальными технологическими условиями были определены степень измельчения 85% -0,074 мм, щелочная среда pH=10, расход олеата натрия 500 г/т и расход таллового масла 500 г/т. В результате флотации, проведенной по схеме последовательного введения собирающего реагента

и раздельного сбора пены, степень извлечения алунита в общем концентрате составила 94,3%. Также, в результате флотационных процессов, проведенных в замкнутом цикле, содержание алунита в концентрате увеличилось до 60,97%, а степень извлечения – до 87,48%. Проанализированы полученные результаты и даны рекомендации по разработке эффективной технологии обогащения алунитовых руд.

Ключевые слова: Алунит, месторождение Гушсай, флотация, концентрат алунита, схема флотации.

INVESTIGATION OF THE FLOTATION ENRICHABILITY OF TECHNOLOGICAL SAMPLES OF ALUNITE ORES FROM THE GUSHSAI DEPOSIT

Almatov Ilkhomjon

Doctor of Technical Sciences,
Senior Researcher, Head of the
Center of the State Institution
“Institute of Mineral Resources”,
Tashkent, Uzbekistan

Bekpulatov Javlon

Doctor of Technical Sciences,
docent, Head of the Department of
the Tashkent State Technical
University named after Islam
Karimov, Tashkent, Uzbekistan

Alimov Dilshod

Basic doctoral student of the
Tashkent State Technical University
named after Islam Karimov,
Tashkent, Uzbekistan

Abstract. This article presents the results of research conducted to determine the optimal conditions for the flotation beneficiation of alunite ores of the Gushsai deposit. During the research, the influence of the degree of grinding, pH of the alkaline medium, and reagent consumption on the flotation extraction efficiency of alunite was studied. As a result of the experiments, the optimal technological conditions were determined to be: grinding fineness of 85% passing through -0.074 mm, alkaline environment with pH=10, sodium oleate consumption of 500 g/t, and tall oil consumption of 500 g/t. As a result of flotation conducted using a scheme of sequential introduction of the collecting reagent and separate foam collection, the alunite recovery in the overall concentrate reached 94.3%. Furthermore, flotation processes carried out in a closed cycle increased the alunite content in the concentrate to 60.97%, with a recovery rate of 87.48%. The obtained results were analyzed, and recommendations were provided for developing an effective technology for the beneficiation of alunite ores.

Keywords: Alunit, Gushsai deposit, flotation, alunite concentrate, flotation scheme.

Kirish. Alunit mineralining kimyoviy formulasi $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ yoki $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 4SO_3 \cdot 6H_2O$ ko‘rinishida berilgan va alunit minerali adabiyotlarda sanoat xomashyosi sifatida qabul qilingan [1]. Ko‘pchilik alunit konlarida alunit minerali jins tarkibida juda nozik tarqalgan bo‘lib, uning donachalari o‘lchami va taqsimlanishi notekisligi bilan farqlanadi. Alunit ko‘pincha kvarts, gil minerallari va boshqa jins hosil qiluvchi minerallar bilan zich bog‘langan holda uchraydi. Minerallarning fizik xossalari o‘zaro yaqinligi va alunitning mayda inkluziyalari tufayli bunday ma‘danlarni boyitishning eng maqbul usuli sifatida flotatsiya jarayoni tanlanadi [2].

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Avvalgi tadqiqotlarimizda Go‘shsoy koni alunit ma‘danlarining moddiy tarkibi va fizik xususiyatlari chuqur o‘rganilib, kimyoviy va mineralogik tahlillar

asosida ularning asosiy tarkibiy komponentlari aniqlangan. Alohida komponentlarning kimyoviy tahlilari spektrofotometr UV-VID dastgohida va titrlash usulida olib borilgan, namunalarning granulometrik tarkibini aniqlash uchun Siebtechnik GmbH (Germaniya) kompaniyasining ASM200 rusumli elakli tahlil apparatidan foydalanilgan. Namuna va mahsulotlarning mineralogik tarkibini aniqlashda Polam-R312 mikroskopidan foydalanilib, shlif va anshliflar ko‘rilgan.

Kimyoviy tahlil natijalariga (1-jadval) ko‘ra, o‘rtacha namuna tarkibida kremniy oksidi – 40,61%, temir oksidi – 4,24%, alyuminiy oksidi – 20,19%, kaliy oksidi – 4,24% va kuydirishdagi yo‘qotishlar – 22,63% ni tashkil etadi. Granulometrik tahlilda glinozyom (Al_2O_3) miqdori mayda sinflarda 22,74% gacha ortishi aniqlandi [3]. Mineralogik tahlil ma‘lumotlariga (2-jadval)

asoslanib, namuna tarkibida alunit ~35,62%, kvars ~34,51%, kaolinit ~4,10% va plagioklaz ~4,93% miqdorda mavjudligi aniqlangan [4].

1-jadval

Alunit namunasining kimyoviy tahlil natijalari

Komponentlar	Miqdori, %	Komponentlar	Miqdori, %
SiO ₂	49,61	K ₂ O	4,24
Fe ₂ O ₃ (umumiy)	0,38	P ₂ O ₅	0,30
TiO ₂	0,31	Σumumiy	7,68
MnO	0,15	SO ₃	1,65
Al ₂ O ₃	20,19	Shisob.sulfid	7,02
CaO	0,39	KYM (mm)	22,63
MgO	0,30	H ₂ O	0,26
Na ₂ O	0,58	Σvig'indi	90,08

2-jadval

Alunit namunalarining taxminiy miqdoriy (silikatli tahlil natijalariga ko'ra) nisbatlari

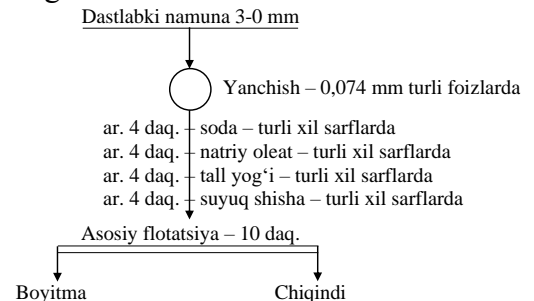
№	Mineral nomi	Minerallarning namunadagi miqdori, %	Mineral donalarining o'lchami, mm dan	
			gacha	
	Pirit	Kam miqdorda	Mayda donali	
	Temir gidroksidlari			
1	Kvars	~34,51	0,08	0,95
2	Alunit	~35,62	0,065	2,1
3	Kaolinit	~4,10	0,001	0,02
4	Plagioklaz	~4,93	Mayda donali	
5	Biotit	~2,30		
	Byomit	Kam miqdorda	0,15	2
	Gidroargillit		0,52	1,7
6	Apatit	~0,69	Mayda donali	
7	Rutil	~0,31		
	Barit			
	Sirkon	Kam miqdorda		

Alunit ma'danini boyitishning asosiy maqsadi – namunalarni zararli aralashmalar, jumladan kvars va temir minerallaridan tozalash orqali foydali komponentning konsentratsiyasini oshirishdan iborat. Alunit tarkibidagi zararli qo'shimchalarning turi hamda olinadigan mahsulot sifatiga qo'yiladigan talablar tadqiqot sinovlari usulini tanlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Ma'danlardan alunitni flotatsiya qilish tadqiqotlarida natriy oleat qo'llanilgan. Flotatsiya modifikatorlari soda yoki o'yuvchi natriy bo'lgan. Eng yaxshi ajralish pH=10 atrofida kuzatilgan [5]. Shunday qilib alunit soda yoki o'yuvchi natriy yordamida hosil qilinadigan pH=9,5-10 muhitida yog' kislotali yig'uvchilar bilan flotatsiyalanadi. Bo'sh jinslar – kvars, xalsedon va gil minerallarini bostirib turish uchun suyuq shisha qo'llaniladi [6].

Mazkur maqolada avvalgi tadqiqotlarda olingan ma'lumotlarga tayangan holda Go'shsoy koni alunit ma'danining samarali boyitish imkoniyatlari va ularni texnologik amalga oshirish yo'llari o'rganildi. Flotatsion tadqiqotlar FML 3 (240 FL) markali flotatsiya mashinalarida olib

borildi, boyitish jarayoni dastlabki namunalarda turli xil reagentlar sarfi holatlarida amalga oshirildi. Jarayon davomida reagent sifatida soda, suyuq shisha, tal yog'i va natriy oleatdan foydalanildi hamda ularning optimal sarf miqdorlari aniqlab olindi. Tadqiqotlar natijasida rudaning flotatsion boyitiluvchanligini oshirishga yo'naltirilgan optimal texnologik parametrlar – maydalash darajasi, ishqoriy muhit pH ko'rsatkichi, reagentlar turi va ularning sarfi hamda flotatsiya sharoitlari aniqlanib, samarali boyitish sxemalarini shakllantirish imkoniyati belgilandi.

Natijalar va muhokama. Go'shsoy koni alunit ma'dani flotatsion boyitiluvchanligini o'rganish jarayoni 1-rasmda ko'rsatilgan namunaviy texnologik sxema yordamida namunalar soda, suyuq shisha, tal yog'i va natriy oleat kabi yig'uvchi va bostiruvchi reagentlarning turli sarflarida amalga oshirildi. Har bir reagent miqdori boyitma va chiqindi tarkibidagi alunit, kvars va temir minerallarining taqsimlanishiga ta'sirini aniqlash maqsadida o'zgartirib borildi. Jarayon davomida optimal reagent sarfi, pH qiymati hamda yanchish darajasi tanlanib, ularning boyitish samaradorligiga ta'siri baholangan.

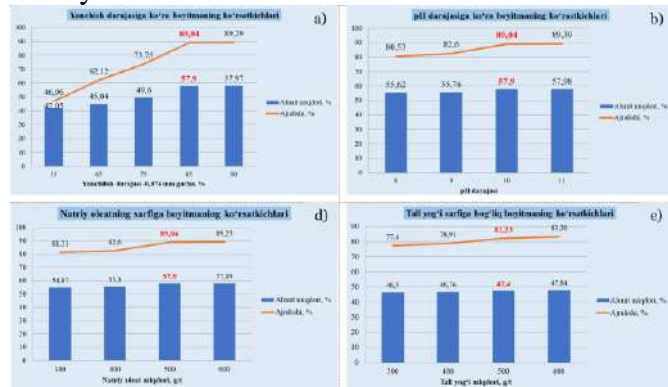


1-rasm. Turli texnologik sharoitlarda (yanchilish darajasi va reagent sarflarida) namunalarni flotatsiyalash sxemasi.

Flotatsiya jarayonlari natijalariga ko'ra, optimal yanchilish darajasi 85% (-0,074 mm), soda sarfi 1650 g/t, ishqoriy muhit pH=10, yig'uvchi reagent sifatida natriy oleatning sarfi 500 g/t, ko'pik hosil qiluvchi tall yog'ining sarfi esa 500 g/t etib belgilangan (2-rasm).

Yanchilish darajasi 85% (-0,074 mm) gacha bo'lganida, alunitning ajralish darajasi ortib, flotatsiya natijalari eng yuqori qiymatlarni namoyon etdi. Bu holat alunitning mayda sinflarda to'liqroq ochilishi va sirt faol moddalari bilan o'zaro ta'sirining kuchayishi bilan izohlanadi. Ishqoriy

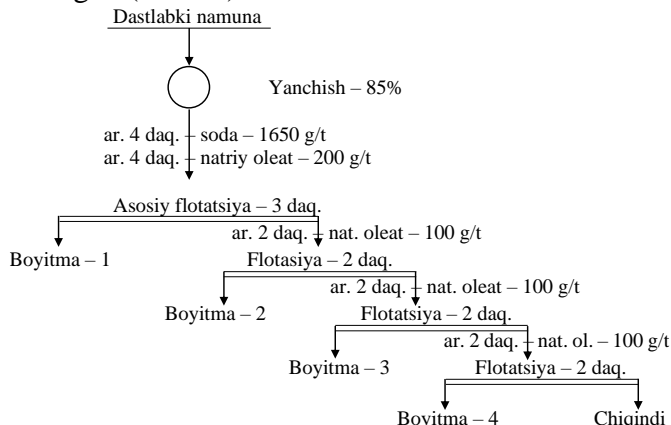
muhitning pH=10 atrofida barqaror saqlanishi natriy oleatning yig'uvchi xossalarini kuchaytirgan, natijada alunitning ko'pikli fazaga o'tish darajasi oshgan. Suyuq shisha miqdori oshishi bilan alunit boyitmasining chiqishi, miqdori va ajralishi kamayib borishi kuzatildi.



2-rasm. Turli texnologik sharoitlarning namunalarni flotatsiyalash darajasiga bog'liqlik grafiklari: a) yanchilish darajasi; b) ishqoriy muhit; d) natriy oleat va e) tall yog'i sarfi.

O'tkazilgan tadqiqotlarda yig'uvchi reagentlarning (natriy oleat va tall yog'i) miqdori 500 g/t atrofida optimal natijalarni bergan. Reagent miqdorining ortishi boyitmaning chiqishini biroz oshirgan bo'lsa-da, alunit miqdori o'zgarmagan, bu esa flotatsiya jarayonining to'yinish holatini ko'rsatadi. Natriy oleatning 500 g/t dan ortiq sarflarida ko'pik barqarorligi oshgani, lekin selektivlikning kamaygani aniqlangan.

Yig'uvchi reagentni ketma-ketlikda berish va ko'pikni alohida yig'ish sxemasi bo'yicha o'tkazilgan tajribalar boyitish jarayonining selektivligini oshirgan (3-rasm).



3-rasm. Yig'uvchi reagentni ketma-ketlikda berish va ko'pikni alohida olish bo'yicha flotatsiya sxemasi.

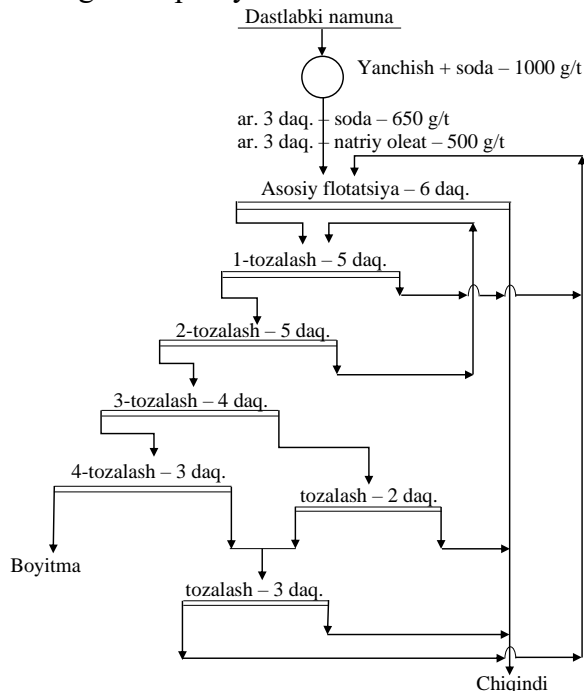
Ushbu yondashuv orqali alunitning bosqichma-bosqich ajralishi ta'minlanib, yakuniy boyitmada alunitning miqdori 43,51% ga, ajralish darajasi esa 94,3% ga yetgan. Bu esa dastlabki ma'dan bilan solishtirganda sezilarli yaxshilanishni ko'rsatadi.

3-jadval

Yig'uvchi reagentni ketma-ketlikda berish va ko'pikni alohida olish bo'yicha flotatsiya natijalari

Namuna nomi	Chiqishi, %	Alunit miqdori, %	Ajralishi, %	Natriy oleat sarfi, g/t
Boyitma - 1	40,1	49,4	55,6	200
Boyitma - 2	22,3	42,1	27,6	100
Boyitma - 3	8,7	27,17	7,1	100
Boyitma - 4	6,1	15,7	4	100
Umumiy boyitma	77,2	43,51	94,3	
Chiqindi	22,8	8,9	5,7	
Dastlabki namuna	100	35,62	100	

3-jadval ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, dastlabki 5 daqiqada alunitning flotatsiyalanishi, ya'ni ajralishi yuqori bo'lib, 3-4-flotatsiyada esa bu ko'rsatgichlar pasayib ketishini kuzatish mumkin.



4-rasm. Yopiq siklda namunalarni flotatsiyalash sxemasi.

Yopiq siklda olib borilgan tajribalarda oraliq mahsulotlar qayta flotatsiyaga yuborildi, natijada foydali komponentning yo'qotilishi kamaydi va boyitmada alunit miqdori yuqorilashga erishildi (4-rasm). Bu usulda yakuniy boyitma chiqishi

51,1%, alunitning miqdori 60,97%, ajralish darajasi esa 87,48% bo'ldi.

4-jadval

**Yopiq siklda namunalarni flotatsiya sxemasi
natijalari**

Namuna nomi	Chiqish, %	Alunit miqdori, %	Ajralishi, %
Boyitma	51,1	60,97	87,48
Chiqindi	48,9	9,12	12,52
Dastlabki ma'dan	100	35,62	100

4-jadvaldan ko'rinib turibdiki, yopiq sikl natijasida boyitma sifati (alunit miqdori) yuqori bo'ldi, ammo ajralish darajasi nisbatan pasaydi.

Shunday qilib, birinchi sxema (ketma-ket reagent berish) yuqori ajralish darajasi bilan tavsiflanadi va foydali komponent yo'qotilishini kamaytirish imkonini beradi, biroq boyitma sifati nisbatan past bo'ladi. Ikkinchi sxema (yopiq sikl) esa boyitma sifati yuqori, ya'ni alunitning konsentratsiyasi oshgan, ammo ajralish darajasi biroz past ko'rsatkichga ega.

Xulosa. Umuman olganda, olingan natijalar

shuni ko'rsatadiki, yopiq siklda namunalarni flotatsiyalash usuli sanoat sharoitida amaliy qo'llash uchun eng maqbul variant hisoblanadi, chunki u boyitma sifatining barqarorligini ta'minlaydi hamda qayta ishlash bosqichlarida texnologik jarayonni yuqori darajada nazorat qilish imkonini beradi. Shu bilan birga, yig'uvchi reagentlarni ketma-ket berish sxemasi laboratoriya yoki yarim-sanoat sharoitlarida ajralish samaradorligini aniqlash va jarayon imkoniyatlarini baholash uchun foydali hisoblanadi.


Tajriba natijalari asosida aytish mumkinki, ikki yondashuvni kompleks qo'llash, ya'ni dastlab reagentlarni bosqichma-bosqich berish, so'ngra oraliq mahsulotlarni yopiq siklda qayta flotatsiyalash orqali alunit boyitmasining ham sifati, ham ajralish darajasini yuqori darajaga ko'tarish mumkin.

Bunday natijalar flotatsiya jarayonining takroriy bosqichlarda foydali komponentlarni to'liqroq ajratish imkonini berishini va jarayonni uzluksiz siklga o'tkazish uchun ilmiy asos yaratishini tasdiqlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Bentli, I., Yüzer, H., & Celik, S. M. (2009). Removal of finely disseminated silicates from Kütahya-Şaphane alunite ore by oleate flotation. *The Journal of Ore Dressing*, 11(2), 10–14.
- [2] Лейе, Ю. А., и др. (1971). Алунисты Закарпатия. Москва: Недра.
- [3] Badalov, F. A., Almatov, I. M., & Alimov, D. Sh. (2024). Изучение вещественного состава технологической пробы алунитовых руд Гушсайского месторождения. *Geologiya fanlari universiteti xabarlari: ilmiy-texnik jurnal*, (2), 52–56. ISSN: 2181-3590.
- [4] Alimov, D. Sh., & Oripov, A. O. (2024). Gushsoy konining alunit ma'dani namunalarning mineralogik tadqiqotlari. In Akademik V. R. Raximovning 90 yilligiga bag'ishlangan "Yer osti boyliklaridan oqilona va bexatar foydalanishda raqamli texnologiyalarni qo'llashning istiqbollari" mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnik anjumani maqolalari to'plami (pp. 87–92). Toshkent, 8–9-oktyabr.
- [5] Справочник по обогащению руд. Основные процессы. (1983). Москва: Недра.
- [6] Богданов, О. С., Максимов, И. И., Подпек, А. К., & Янис, Н. А. (1990). Теория и технология флотации руд. Москва: Недра.

УДК: 622.7

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.31

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕСТНЫХ РЕАГЕНТОВ ПРИ ФЛОТАЦИИ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД



Халимов Шохрух Комилжон угли

Каршинский государственный технический университет,
докторант, Карши, Узбекистан
E-mail: xalimovshohrux7700@gmail.com
ORCID ID: 0009-0001-7206-6987



Саидахмедов Актам Абдусамиевич

Доцент, DSc, Навоийский Государственный Горно-
технологический Университете, Навои, Узбекистан
E-mail: aktam.saidaxmedov@bk.ru
ORCID ID: 0000-0002-0482-3413

Аннотация. В статье рассматриваются принципы флотации медно-молибденовых руд, роль основных групп реагентов и возможности применения «местных» (локально доступных, импортозамещающих или полученных из побочных сырьевых потоков) реагентов. Обсуждаются преимущества и ограничения таких реагентов, методы оценки их эффективности (микрофлотация, аналитические методы), экономические и экологические аспекты, а также практические рекомендации для внедрения на обогатительных фабриках. Основной упор – на обеспечение селективности при разделении халькопирита и молибденита, снижении затрат и минимизации экологического воздействия.

Ключевые слова: флотация, медно-молибденовые руды, реагенты, растительные масла, силикатные добавки, селективность, устойчивые технологии.

MIS-MOLIBDEN RUDALARINI FLOTATSIYALASHDA MAHALLIY REAGENTLARDAN FOYDALANISH TAHLILI

Xalimov Shoxrux Komiljon o'g'li

Qarshi davlat texnika universiteti, doktorant, Qarshi, O'zbekiston

Saidahmedov Aktam Abdusamiyevich

Navoiy davlat konchilik va texnologiya universiteti dotsenti, DSc,
Navoiy, O'zbekiston

Annotatsiya. Maqolada mis-molibden rudalarini flotatsiya qilish tamoyillari, asosiy reagent guruhlarining roli va "mahalliy" (import o'rnini bosuvchi yoki qo'shimcha xomashyo oqimlaridan olingan mahalliy mavjud) reagentlarni qo'llash imkoniyatlari ko'rib chiqiladi. Bunday reagentlarning afzalliklari va cheklovlari, ularning samaradorligini baholash usullari (mikroflotatsiya, analitik usullar), iqtisodiy va ekologik jihatlari, shuningdek, boyitish fabrikalarida joriy etish bo'yicha amaliy tavsiyalar muhokama qilinadi. Asosiy e'tibor xalkopirit va molibdenitni ajratishda selektivlikni ta'minlash, xarajatlarni kamaytirish va ekologik ta'sirni minimallashtirishga qaratilgan.

Kalit so'zlar: flotatsiya, mis-molibden rudalari, reagentlar, o'simlik moylari, silikat qo'shimchalar, selektivlik, barqaror texnologiyalar.

ANALYSIS OF THE USE OF LOCAL REAGENTS IN THE FLOTATION OF COPPER-MOLIBDENIC ORES

Khalimov Shokhrux Komiljon ugli

Karshi State Technical University, PhD student, Karshi,
Uzbekistan

Saidahmedov Aktam Abdusamiyevich

Associate Professor, Navoi State University of Mining and
Technology, DSc, Navoi, Uzbekistan

Abstract. The article examines the principles of flotation of copper-molybdenum ores, the role of the main groups of reagents, and the possibilities of using “local” (locally available, import-substituting, or derived from secondary raw material flows) reagents. The advantages and limitations of such reagents, methods for evaluating their effectiveness (microflotation, plate flotation, analytical methods), economic and environmental aspects, and practical recommendations for implementation in processing plants are discussed. The main focus is on ensuring selectivity in the separation of chalcopyrite and molybdenite, reducing costs and minimizing environmental impact.

Keywords: flotation, copper-molybdenum ores, reagents, vegetable oils, silicate additives, selectivity, sustainable technologies.

Введение. Флотация остаётся основным методом обогащения породообразующих медно-молибденовых руд. Традиционно для получения концентратов используются классические коллекторы (ксантаты, дитиофосфаты, меркаптобензотиазолы), пенообразователи (поверхностно-активные спирты и алифатические соединения) и модификаторы (депрессанты, активаторы) в определённых режимах. В последние годы возрос интерес к поиску местных/импортозамещающих и более экологических реагентов: состав комбинированных коллекторов, биореагентов (растительные экстракты, биоповерхностно-активные вещества), а также композиты, изготовленные из промышленных отходов и доступных региональных сырьевых источников. Такие подходы потенциально снижают затраты и логистические риски, но требуют тщательной проверки селективности и устойчивости в промышленных условиях.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования рассматривалась порфириновая медно-молибденовая руда Алмалыкского месторождения. Минералогический состав: халькопирит, молибденит, пирит, кварц, полевые шпаты. Среднее содержание меди – 0,4%, молибдена – 0,02%. Для моделирования флотационного процесса применялись как стандартные реагенты (бутилксантат, МИБК, Na_2SiO_3), так и местные заменители — смеси растительных масел (рапсовое, подсолнечное) и природные силикатные материалы. Оценка эффективности проводилась по показателям извлечения Cu и Mo, а также по индексу селективности.

Минералогические и технологические основы разделения Cu–Mo. Чтобы оценить применимость местных реагентов, нужно

учитывать минералогию сырья и технологическую схему. В типичных порфириновых системах основными компонентами являются: халькопирит (CuFeS_2) – основной источник меди, молибденит (MoS_2) – основной минерал молибдена, пирит и кислые/оксидные минералы. Молибденит, естественно, более гидрофобен и легко всплывает, однако ассоциации с медными сульфидами и поверхность, изменённая окислением, усложняют селективность. Классический подход – последовательная флотация: сначала выделение медного концентрата (иногда в несколько стадий), затем флотация молибденита с депрессией меди (или наоборот, в зависимости от схемы). Выбор реагентов направлен на достижение высокой извлечённости и селективности при минимальной потере взаимосвязанных компонентов [1].

Результаты и обсуждение.
Классификация и функции реагентов при флотации Cu–Mo. Коллекторы повышают гидрофобность целевых минералов. Для медных минералов широко применяют ксантаты (амил-, бутил- и др.), дитиофосфаты и меркаптобензотиазолы как вторичные коллекторы; молибдениту иногда добавляют сильные коллекторы (например, бутилксантат) или используют схему так, чтобы молибденит всплывал на втором этапе. Выбор коллектора сильно влияет на селективность: сильные коллекторы для молибденита могут ухудшать разделение с медью [2].

Пенообразователи – алифатические спирты, полиалкилполиэтиленгликоли и др. – отвечают за устойчивость пены и кинетику флотации. Некорректный выбор пенообразователей может ухудшать селективность и приводить к высоким потерям.

Депрессанты (крахмалы, каррагинан,

NaCN, ZnSO₄ и др.) применяются для подавления нежелательных минералов (пирит, железосодержащие фракции) или для селективного подавления молибденита/меди при соответствующих схемах. Активаторы (Cu²⁺ и пр.) иногда используются для активации определённых минералов. Правильная комбинация регуляторов критична для достижения требуемой селективности [3].

«Местными реагентами» в контексте этой статьи понимаются вещества, которые: производятся в регионе (импортозамещение), или получены из доступного местного сырья или отходов (например, нефтеперерабатывающие остатки, растительные масла, сельскохозяйственные побочные продукты), или представляют собой простые модификации известных молекул с использованием локальных химикатов.

Цель использования – сокращение логистических затрат, повышение устойчивости поставок, уменьшение углеродного следа и, при благоприятных условиях, снижение токсичности. Однако «местный» не всегда значит «лучше»: необходимо оценивать чистоту, стабильность, воспроизводимость состава и влияние на оборудование и окружающую среду [3].

Направления разработки местных реагентов. Исследования показывают, что можно создавать эффективные композиционные коллектора/пенообразователи, комбинируя доступные соединения (ксантаты, тио- или дитиофосфаты) с суррогатами (минорные поверхностно-активные вещества из нефтехимии, остатки маслоочистки). Такие композиты иногда улучшают стабильность пены и обеспечивают желаемую кинетику флотации. Примеры лабораторных работ в Казахстане и соседних регионах демонстрируют потенциал импортозамещающих композиций [4].

Растительные масла (соевые, касторовые, отработанные растит. масла) и экстракты (алоэ, каррагинан, целлюлозные производные) исследуются как пенообразователи и модификаторы поверхности. Биореагенты обещают лучшую биоразлагаемость и более низкую токсичность, однако их состав может значительно варьировать между партиями, что требует

стандартизации и, возможно, химической модификации для стабильной работы. Последние исследования также рассматривают биосурфактанты, продуцируемые микроорганизмами, как перспективную «зелёную» альтернативу [5].

Для селективной депрессии молибденита или меди разрабатывают полимерные депрессанты на базе доступных полисахаридов (каррагенан, крахмал) и целлюлозных производных. Эти вещества дешевле и экологичнее синтетических аналогов, но требуют изучения механизма взаимодействия с поверхностями минералов. Новые исследования показывают, что каррагинан, например, может селективно депрессировать молибденит в присутствии ксантатов при определённых условиях.

Лабораторное и пилотное тестирование местных реагентов. Для оценки новых/местных реагентов обычно используют комбинацию методов: микрофлотация (Hallimond cup), лабораторные флотационные машины (например, 1–2 л), аналитические методы (XRD, SEM, FTIR для изучения адсорбции), ζ-потенциал и кинетические испытания. Важные показатели – извлечённость, содержание целевого минерала в концентрате, селективность, скорость всплывания и стабильность пены.

Проблемы применения в промышленности. Успешные лабораторные результаты не всегда воспроизводятся на фабрике: отличия в минералогии партии, наличии органических загрязнений, составе воды и гидромеханике оборудования могут приводить к иным результатам. Поэтому необходимы пилотные полёты и этапы масштабирования: от 1–5 м³ до полно-размерных секций с отслеживанием долго-временного поведения реагента (накопление в циркуляционных потоках, деградация, взаимодействие с металлами и осадками) [6].

Экономика и логистика внедрения местных реагентов. Ключевые факторы экономической оценки: себестоимость реагента (сырьё + переработка), стабильность поставок, влияние на производительность (извлечённость, выход концентрата), затраты на утилизацию хвостов и экологические сборы. Локальные реагенты выигрывают по логистике и, часто, по цене при массовом применении; но требуется

учёт издержек на стандартизацию, очистку и возможную модернизацию дозирующего оборудования. Рискованным может быть использование нестабильных биосырьев без системы контроля качества.

Экологические и нормативные аспекты.

Местные реагенты часто позиционируют как более экологичные, но это не всегда так: некоторые производные растительных масел или побочных нефтепродуктов могут содержать токсичные примеси (ПАУ, замещённые фенолы), требующие очистки. Необходимо оценивать биоразлагаемость, токсичность для акватика, образование стойких эмульсий в хвостохранилищах и возможное взаимодействие с очистными сооружениями. Соответствие местным экологическим нормам и требованиям к сбросам – обязательное условие внедрения.

Технические рекомендации для применения местных реагентов на обогатительных фабриках:

- **минералогическая разведка:** перед вводом реагента провести детальную минералогию (QEMSCAN/MLA, SEM, XRD) для понимания ассоциаций Cu–Mo и наличия примесей (арсен, висмут и др.).

- **лабораторное тестирование:** серия микрофлотаций, определение кинетики, дозировки, взаимодействий с обычными регуляторами; сравнение с эталонными коммерческими реагентами (контроль).

- **пилотное масштабирование:** полевые пилоты на секции фабрики или в мобильной флотационной установке с учётом реальной воды и гидромеханики.

- **мониторинг и стандартизация:** разработать процедуры контроля качества сырья реагента (ГОСТ/внутренние стандарты), тесты стабильности партии, анализ остатков и токсичности.

- **оценка жизненного цикла:** учесть все стадии (производство, использование, утилизация).

Результаты исследований:

- В ряде исследований по Казахстану и России были предложены композиционные реагенты, показывающие сопоставимую извлечённость при относительном снижении

стоимости (лабораторные данные).

- Работы последних лет демонстрируют потенциал биореагентов (каррагинан, целлюлозные производные) в роли селективных депрессантов молибденита или меди; однако необходимы дальнейшие промышленные испытания.

- Новые составы коллектора/фротов, коммерчески выдаваемые как «специальные» (например, ряд продуктов Danafloat и Origa), позволяют улучшать селективность; их схемы могут быть адаптированы с использованием местных компонентов как сырья для синтеза.

Результаты моделирования показали, что применение растительных масел в качестве собирателей обеспечивает сравнимое извлечение меди (до 88–90%) при одновременном снижении токсичности и стоимости реагентной схемы. Использование местных силикатных добавок в качестве депрессоров пирита позволило повысить селективность разделения Cu–Mo.

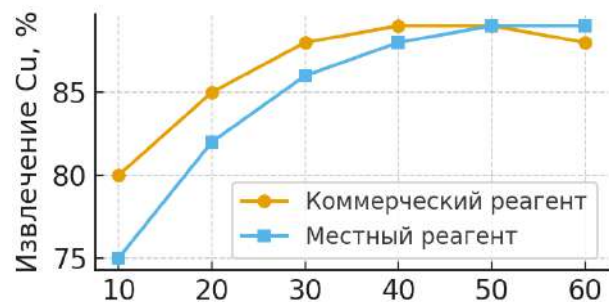


Рис.1. Зависимость извлечения меди от дозировки реагента.

Таблица 1. Сравнение коммерческих и местных реагентов

Показатель	Коммерческий реагент	Местный реагент	Комментарий
Стоимость, \$/т	2000	900	Снижение расходов на 55-60%
Извлечение Cu, %	89	88	Сопоставимая эффективность
Извлечение Mo, %	82	81	Без существенных потерь
Токсичность	Высокая	Низкая	Биорасщепляемые компоненты
Экологичность	Средняя	Высокая	Минимизация отходов

Ограничения и направления дальнейших исследований:

- Необходимы долгосрочные исследования стабильности и накопления продуктов

разложения в замкнутых циклах водоснабжения;

- Изучение молекулярных механизмов адсорбции местных полимеров/экстрактов на поверхности халькопирита и молибденита (FTIR, AFM, ζ -потенциал) поможет целенаправленно оптимизировать составы;

- Разработка стандартизированных протоколов качества для биореагентов (снижение вариабельности между партиями);

- Оценка экологической совместимости с современными системами очистки и хвостохранилищами.

Заключение. Местные реагенты – перспективное направление для снижения затрат и повышения устойчивости поставок в обогательном производстве медно-молибденовых руд.

Успешное применение требует комплексного подхода: минералогическая разведка, лабораторные и пилотные испытания, стандартизация качества и экологическая оценка.

Наиболее многообещающие направления: композитные коллекторы на базе локальных химикатов, биореагенты как фроторы/депрессанты и модифицированные полимеры из доступного сырья.


Ключевой риск – вариабельность качества биосырья и потенциальные скрытые примеси в побочных продуктах. Поэтому внедрение должно сопровождаться строгим контролем и этапами масштабирования.

Проведённый анализ показывает, что использование местных реагентов на основе растительных масел и силикатных добавок является перспективным направлением повышения экологичности и экономичности флотации медно-молибденовых руд. Предложенные реагентные схемы могут быть адаптированы к условиям действующих фабрик Алмалыкского ГМК. Дальнейшие исследования рекомендуется проводить в рамках пилотных испытаний для уточнения оптимальных дозировок и условий флотации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Orica Mining Chemicals, Teague, A., O’Leary, S., Lee, K., Petrovic, E., Craven, J., JKTech, OZ Minerals, Murdoch University, Metcon Laboratories, & Weir Minerals Australia Ltd. (2009). Flotation guidebook. Orica Mining Chemicals. https://www.ausimm.com/globalassets/insights-and-resources/minerals-processing-toolbox/omc_flotation_guidebook.pdf
- [2] Rios, L. A., Barraza, M. J., Robles, P. A., & Quezada, G. R. (2025). Chalcopyrite flotation, molecular design and smart industry: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(8), 3613. <https://doi.org/10.3390/ijms26083613>
- [3] Negmatova, K., Ikramova, M., Khursanov, A., Negmatov, S., Abed, N., & Negmatov, J. (2022). Development of composite chemical flotation reagents and their application in the process of flotation of copper-molybdenum ores. *AIP Conference Proceedings*, 2471, 050053. <https://doi.org/10.1063/5.0090794>
- [4] Vasumathi, N., Sarjekar, A., Chandrayan, H., Chennakesavulu, K., Reddy, G. R., Kumar, T. V. V., El-Gendy, N. S., & Gopalkrishna, S. J. (2023). A mini review on flotation techniques and reagents used in graphite beneficiation. *International Journal of Chemical Engineering*, 2023, Article 1007689. <https://doi.org/10.1155/2023/1007689>
- [5] Yi, G., Macha, E., Van Dyke, J., Macha, R. E., McKay, T., & Free, M. L. (2021). Recent progress on research of molybdenite flotation: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 295, 102466. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102466>
- [6] Semushkina, L., Abdykirova, G., Turysbekov, D., Narbekova, S., & Kaldybayeva, Z. (2021). On the possibility to process copper-molybdenum ore using a combined flotation reagent. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources*, 319(4), 57–64. <https://doi.org/10.31643/2021/6445.41>

УДК: 622.7:622.793:669.21/.23

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.35

ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОТВАЛЬНЫХ РУД С ИЗВЛЕЧЕНИЕМ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ



Турдыев Шахбоз Шермама т угли

Доцент, доктор технических наук, Каршский
государственный технический университет,
Карши, Узбекистан

E-mail: shahboz_01011991@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-4116-9799



Турдыев Фарид Раззоқ угли

Ассистент, Каршский государственный технический
университет, Карши, Узбекистан

E-mail: faridturdiyev3@gmail.com
ORCID ID: 0009-0006-4874-5935

Аннотация. В настоящее время в мировой практике истощение богатых месторождений редкоземельных и благородных металлов обуславливает вовлечение в промышленное производство все более бедное минеральное сырье и низко концентрированные природные и техногенные материалы. Переработка природных и техногенных материалов, которыми являются промышленные техногенные отходы золотоизвлекательных фабрик, отвальные хвосты и забалансовые отходы, требуют принципиально нового подхода к созданию эффективных технологий извлечения благородных и редких металлов. При этом, особое значение имеет разработка и усовершенствование технологий, а также внедрение в практику извлечения драгоценных (Au, Pt, Pd, Rh, Ag) металлов инновационных способов их извлечения из различных забалансовых руд.

Ключевые слова: забалансовые руды, окисленных медных руд, гравитация, центробежная концентрирование благородных металлов, кучное выщелачивание, концентрат, гидрометаллургия.

CHI QINDI MADANLARDAN NODIR METALLARNI AJRATIB OLISHNI O'RGANISH VA ILMIY TADQIQ ETISH

Turdiyev Shahboz Shermamat o'g'li

Dotsent, t.f.d., Qarshi davlat texnika universiteti,
Qarshi, O'zbekiston

Turdiyev Farid Razzoq o'g'li

Assistent, Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

Аннотация. Hozirgi vaqtda dunyo miqyosida noyob tuproq va nodir metallarning boy konlarining kamayishi tobora kambag'al mineral resurslar va past konsentratsiyali tabiiy va texnogen materiallarning sanoat ishlab chiqarishiga kiritilishiga olib kelmoqda. Oltin qazib olish korxonalarining sanoat chiqindilari, qoldiqlari, balansdan tashqari chiqindilar kabi tabiiy va texnogen materiallarni qayta ishlash qimmatbaho va nodir metallarni qazib olishning samarali texnologiyalarini yaratishga prinsipial yangicha yondashuvni talab qiladi. Shu munosabat bilan texnologiyalarni ishlab chiqish va takomillashtirish, shuningdek, turli balansdan tashqari rudalardan qimmatbaho metallarni (Au, Pt, Pd, Rh, Ag) ajratib olishning innovatsion usullarini ularni qazib olish amaliyotiga joriy etish alohida ahamiyatga ega.

Калит со'злар: balansdan tashqari rudalar, oksidlangan mis rudalari, tortishish kuchi, qimmatbaho metallarning markazdan qochirma kontsentratsiyasi, yig'ib yuvish, konsentrat, gidrometallurgiya.

STUDY AND RESEARCH OF WASTE ORES WITH EXTRACTION OF PRECIOUS METALS

Turdiyev Shahboz Shermamat ugli

*DSc, docent, Karshi State Technical University,
Karshi, Uzbekistan*

Turdiyev Farid Razzoq ugli

Assistant, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. At present, in world practice, the depletion of rich deposits of rare earth and precious metals causes the involvement in industrial production of increasingly poor mineral raw materials and low-concentration natural and technogenic materials. The processing of natural and technogenic materials, which are industrial technogenic waste from gold recovery plants, dump tailings and off-balance waste, requires a fundamentally new approach to creating effective technologies for extracting precious and rare metals. At the same time, the development and improvement of technologies, as well as the introduction into the practice of extracting precious (Au, Pt, Pd, Rh, Ag) metals of innovative methods for their extraction from various off-balance ores, is of particular importance.

Keywords: off-balance ores, oxidized copper ores, gravity, centrifugal concentration of precious metals, heap leaching, concentrate, hydrometallurgy.

Введение. В Республике Узбекистана остро обозначался проблемы переработке забалансовых руд с извлечением меди и других ценных компонентов для увеличения объёма производства меди и разработка комплексных технологию производства драгоценных металлов по медному кластеру и производство продукции с добавленной стоимостью. Для извлечения драгоценных металлов из сбалансированных рудных месторождений желательно в качестве сырья использовались отвальные хвосты производства. Основная причина этому - высокий спрос на первичное сырье во всем мире, при его ежегодном сокращении запасов. В то же время рост стоимости редких и благородных металлов делает процессы их отделения от техногенных отходов более эффективными. Общее количество забалансовых сульфидных и окисленных отходов месторождения Кальмакыр в условиях АО «Алмалыкский ГМК», составляет около 1 миллиарда тонн. Сегодня в условиях АО «АГМК» отсутствует комплексная технология извлечения цветных, редких и драгоценных металлов за счёт переработки забалансовых руд [1].

Методы исследования и результаты. В целях изучения химического и вещественного составов сульфидных и окисленных отвальных хвостов Кальмакырского месторождений были получены образцы для проведение химического анализа с применением масс-спектро-

метрического метода для определения количество благородных и редких металлов с использованием высокопроизводительного энергодисперсионного рентгеновского флуоресцентного спектрометра марки NEX CG RIGAKU [2].

Общее количество забалансовой руды месторождения Кальмакыр на отвалах А-7 и А-8 – составляет 74,5 млн. т., в составе которой содержится золота 31,6 т, с концентрацией 0,424 г/т и 132,2 т серебра с содержанием 1,77 г/т [3]. Забалансовые окисленные руды месторождения “Кальмакыр” сконцентрированы в отвалах № 39, 9, 10, 8а, А-4. Для изучения распределения благородных и редких металлов из отвалов забалансовых руд были отобраны моно-минералы: пирит, халькопирит, молибденит и др. [4].

Таблица 1.

**Среднее содержание металлов в отвалах
месторождения «Кальмакыр»**

№	Металл	Количество Me в окисленных рудах, т	Количество Me в сульфидных рудах, т	Общее содержание, т
1	Au (золото)	31,1	31,6	62,7
2	Ag (серебро)	144,5	132,2	276,7
3	Se (селен)	74	86,42	160,42
4	Pt (платина)	143,55	167,625	311,175
5	Pd (палладий)	194,59	227,225	421,815
6	Re (рений)	16,97	19,817	36,787
7	In (индий)	0,1276	0,149	0,2766
8	Ru (рутений)	1,0846	1,2665	2,3511

Было изучено 40 проб, на основании которых определено среднее количество драгоценных металлов и проведена отдельная объективная оценка для каждого металла (таблица 1).

В результате изучения химического состава отходов установлена возможность извлечения драгоценных металлов из их состава, используя усовершенствованные методы переработки. Кроме этого, пробы А8 были изучены по вещественному составу энергодисперсионной спектроскопии ЭДС (EDS), которые приведены ниже в рисунках (рис.1.).

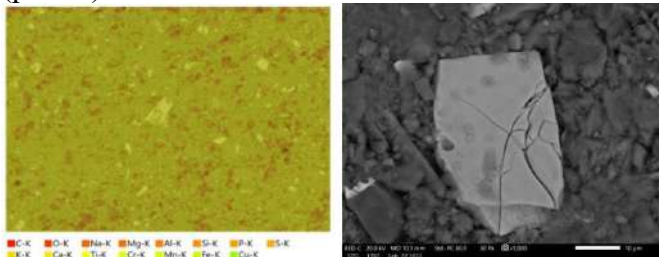


Рис.1. Общий элементарный анализ всей поверхности пробы А8.

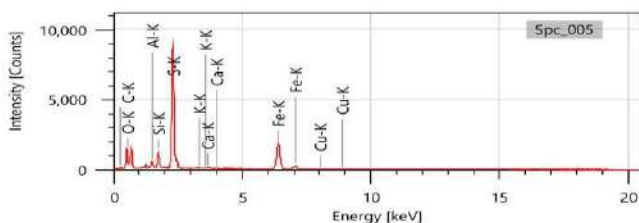


Рис.2. Результаты анализа пробы А8.

Таблица 2.

Элементный состав общей площади пробы участок А8

Элемент	Линия	Масса, %	Атом, %
Spс_005	Line	Mass%	Atom%
C	K	9.37 ± 0.19	20.52 ± 0.42
O	K	17.53 ± 0.18	28.81 ± 0.30
Mg	K	0.68 ± 0.03	0.73 ± 0.04
Al	K	1.73 ± 0.04	1.69 ± 0.04
Si	K	3.69 ± 0.06	3.45 ± 0.06
S	K	32.27 ± 0.16	30.57 ± 0.13
K	K	0.46 ± 0.03	0.31 ± 0.02
Ca	K	0.72 ± 0.03	0.47 ± 0.02
Fe	K	28.41 ± 0.22	13.38 ± 0.10
Cu	K	0.15 ± 0.04	0.06 ± 0.02
Total		100.00	100.00
Spс_005 Fitting ratio 0.0149			

Проводили общий химический анализ проб по всей поверхности каждой пробы для определения возможных составляющих исследуемых объектов. Снимками определён размер медных частиц, составляющий 10 мкм, и он, в основном, связан сульфидами [4; С.107].

Исследуемая поверхность описывается в основном медью, в качестве примеси, минералы железа, находящиеся на пике, встречаются с серой, что в свою очередь образует минералы сульфидов железа, и заметное количество кварца на высоком пике интенсивностью $4.0 \cdot 10^5$.

В спектре 005 обозначена медная поверхность пробы, имеющая содержание меди 0,15% в изучаемой пробе, связанной с кислородом (смотрите рис.2. и таблице 2. элементный состав пробы А8) в качестве примеси встречается сульфид железа и минералы кварца, глинозёма и кальцита.

Результаты анализов проб участка 10 показывает среднее содержание меди 0,15%, и размер медных минералов в среднем 100 мкм. (см. рис.3.).

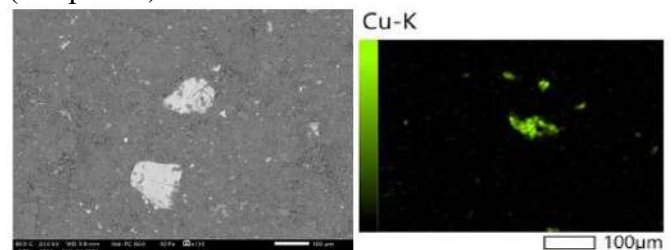


Рис.3. Результаты анализа проб участка 10.

Из рисунков 3 можно определить, что медь и в рудах встречается в окисленном виде, пик Cu равняется пику O₂. Минералогический состав и результаты опытов показывают, что забалансовые руды участка А8 относятся к сульфидным, но результаты анализа флотоконцентратов показали низкую концентрацию меди и благородных металлов, что такой флотоконцентрат не соответствует требованиям МПЗ АО «АГМК». Из результатов только у серебра хороший концентрирования и извлечения в фазе концентрата [8].

Результаты и обсуждение. Исходя из средних содержаний меди и благородных металлов в пробе, проведены опыты по гравитационному обогащению руды складов А4, А7, 9 по разработанной технологической схеме, приведённой на рисунке 4.

Для руды проб отвала А4 и 9 результаты опытов гравитационного обогащения дали хорошие показатели для всех благородных металлов, в частности, золота, серебра, платины и палладия, но для меди низкое.

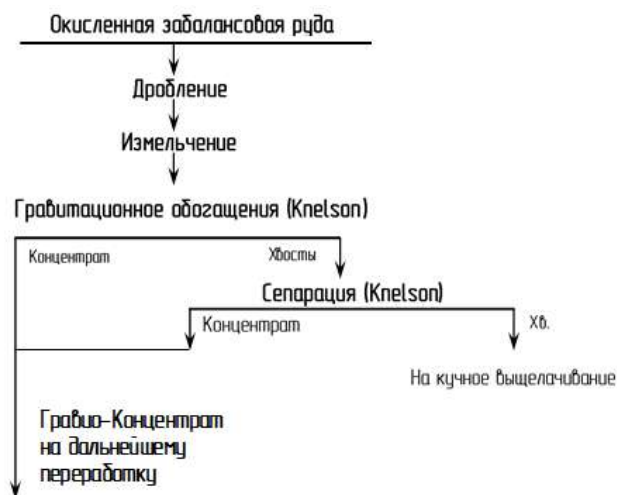


Рис.4. Предлагаемая технологическая схема обогащения окисленных забалансовых руд.

гравитационный концентрат, богатый по благородным металлам по следующего состава: по золоту в среднем 28-46 г/т, по серебру 52-58 г/т, по платине 80-96 г/т, по палладию 100-170 г/т. Идея переработки концентратов, полученных после обогащения окисленных забалансовых руд заключается предварительный обжиг концентрата при 350-400 °С с дальнейшими сернокислотным выщелачиванием примесив, и остаточное кек подвергается двух стадийному азотнокислого селективного выщелачивание серебро и палладия, также царско-водочное растворение платины и золота с разработками оптимальных параметров селективного осаждение серебро, палладия, платины и золото с соответствующими осаждающими

Таблица 4.

Результаты гравитационного обогащения окисленных забалансовых руд

Наим.	Вес, гр	Выход, %	Содержание, %						Извлечение, %					
			Au, г/т	Ag, г/т	Pt, г/т	Pd, г/т	Cu	Ss	Au	Ag	Pt	Pd	Cu	Ss
Результаты гравитационного обогащение проб А4														
Концентрат	180,00	1,80	46,72	52,91	96,12	170,13	1,46	1,46	72,18	13,72	83,27	81,62	11,78	2,82
Хвосты	9820,00	98,20	0,33	6,10	0,41	0,82	0,20	0,92	27,82	86,28	16,73	18,38	88,22	97,18
Руда	10000,00	100,00	1,16	6,94	2,50	4,40	0,22	0,93	100,00	100,00	100,0	100,0	100,00	100,00
Результаты гравитационного обогащение проб А7														
Концентрат	192,00	1,92	6,32	57,73	19,22	27,14	17,48	0,58	27,88	21,20	31,98	33,24	25,88	6,27
Хвосты	9808,00	98,08	0,32	4,20	1,01	1,20	0,98	0,17	72,12	78,80	68,02	66,76	74,12	93,73
Руда	10000,00	100,00	0,44	5,23	1,46	1,80	1,30	0,18	100,00	100,00	100,0	100,0	100,00	100,00
Результаты гравитационного обогащение проб 9														
Концентрат	185,00	1,85	28,70	54,12	80,70	102,85	2,20	0,81	32,97	41,18	66,37	70,38	17,17	3,23
Хвосты	9815,00	98,15	1,10	1,08	0,70	0,80	0,20	0,46	67,03	58,82	33,63	29,62	82,83	96,77
Руда	10000,00	100,00	1,61	1,84	2,10	2,70	0,24	0,47	100,00	100,00	100,0	100,0	100,00	100,00
Knelson: вода л/мин, g=90, Измельчение -60 мин, Крупность -0,074 мм-80%.														

Образовавшиеся хвосты гравитационного обогащения окисленных руд (отвалов А4, А7 и 9) направить на кучное выщелачивание меди вместе с сульфидными забалансовыми рудами с целью извлечения из них меди.

Заключения. После гравитационного обогащения окисленных забалансовых медных руд (участков А4, А7 и 9) образуется


реагентами разработанных автором работы. В результате разработанной схеме было получено чистейших благородных металлов с массовой долей 99,9% с сквозными извлечениями с выше 90%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Вохидов, Б. Р. (2020). Разработка технологии получения платиновых металлов из техногенных отходов. Евразийский союз ученых (ЕСУ), (6(75)), 38–46.
- [2] Вохидов, Б. Р. (2019). Разработка технологии получения аффинированного палладиевого порошка из отработанных электролитов. Горный вестник Узбекистана, (1(76)), 58–61.
- [3] Вохидов, Б. Р., и др. (2020). Исследование повышения степени извлечения аффинированного палладиевого порошка из сбросных растворов. Литье и металлургия, (1), 78–86.

- [4] Вохидов, Б. Р., & Хасанов, А. С. (2021, September). Исследование и разработка технологии извлечения металлов платиновых групп из техногенного сырья АО «АГМК». В Труды XIV Международной конференции (с. 29–32). Красноярск: Институт химии и химической технологии СО РАН.
- [5] Voxidov, B. R. (2021). Development and improvement of technology for extraction of precious metals from technogenic raw materials. *Universum: технические науки*, (12(93)), 11–16.
- [6] Арипов, А. Р., Ахтамов, Ф. Э., Саидахмедов, А. А., & Вохидов, Б. Р. (2022). Разработка технологии обогащения вермикулитовых руд Караузякского месторождения. *Горный журнал Казахстана*, 33–39.
- [7] Хасанов, А. С., Вохидов, Б. Р., & Мамараймов, Г. Ф. (2020). Изучение возможности извлечения ванадия из техногенных отходов. *Илмий-техник журнал Фарғона политехника институти*, 24(3), 97–102.
- [8] 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: 622.235:622.233

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.34

PORTLATISH ISHLARIDA DETONATORNI SKVAJINADAGI ZARYADNING MAQBUL KO‘RSATGICHLARIGA JOYLASHTIRISH ORQALI TOG‘ JINSLARINING MAYDALANISH DARAJASINI OSHIRISH



**Alimov Shoxriddin
Muxammatovich**

*Olmalik davlat texnika instituti,
“Konchilik ishi” kafedrası v.b.,
dotsenti, Olmalik, O‘zbekiston
E-mail: alimov_shm@mail.ru*



**Axmedov Ulug‘bek
Azamat o‘g‘li**

*Olmalik davlat texnika instituti,
“Konchilik ishi” kafedrası
assistenti, Olmalik, O‘zbekiston
E-mail:
akhmadovulugbek@gmail.com*



**Kayirbayev Isa Baxtiyar
uli**

*Olmalik davlat texnika instituti,
magistrant, Olmalik, O‘zbekiston
E-mail: isakayirbayev@gmail.com*

Annotatsiya. Ushbu maqolada ochiq konlarda olib boriladigan burg‘ilab-portlatish ishlarida detonatorning skvajinadagi joylashuv holatining tog‘ jinslarining maydalanish darajasiga ta’siri ilmiy jihatdan tahlil qilingan. Detonatorni skvajinadagi zaryadning pastki qismida, markazida va boshqa muqobil holatlarda joylashtirish natijasida hosil bo‘ladigan kuchlanish to‘lqinlari, energiya taqsimoti hamda portlash samaradorligi solishtirib o‘rganilgan. Nazariy tahlillar va amaliy tajribalar asosida zaryad uzunligining markaziga joylashtirilgan detonator portlash energiyasidan samaraliroq foydalanish imkonini berishi, noo‘lcham tog‘ jinslari miqdorini kamaytirishi va tog‘ jinslarining bir xil hamda mayda bo‘laklanishini ta’minlashi aniqlangan. Tadqiqot natijalari portlatish parametrlarini optimallashtirish orqali konlarda qazib olish samaradorligini oshirish mumkinligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: Skvajina, portlovchi modda, detonator joylashuvi, portlatish ishlari, tog‘ jinslarining maydalanishi, portlash energiyasi, kuchlanish to‘lqinlari, noo‘lcham tog‘ jinsi, detonatsiya tezligi, ochiq kon ishlari.

ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ДЕТОНАТОРА НА ДРОБЛЕНИЕ ПОРОДЫ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ ВАЖНАЯ РОЛЬ

**Алимов Шохриддин
Мухамматович**

*Доцент кафедры горного дела,
Алмалыкский государственный
технический институт,
Алмалык, Узбекистан.*

**Ахмедов Улугбек
Азамат угли**

*Ассистент кафедры горного
дела, Алмалыкский
государственный технический
институт, Алмалык, Узбекистан*

**Каирбаев Иса Бхтияр
ули**

*Алмалыкский государственный
технический институт,
магистрант, Алмалык,
Узбекистан*

Аннотация. В статье рассматривается влияние расположения детонатора в скважинном заряде на степень дробления горных пород при проведении буровзрывных работ в условиях открытых горных работ. Проанализированы различные варианты размещения детонатора в скважине (в нижней части заряда, в центральной зоне и другие положения) и их влияние на распределение напряжений и энергии взрывной волны. На основе теоретических исследований и результатов промышленных испытаний установлено, что размещение детонатора в центре заряда обеспечивает более равномерное распределение энергии взрыва, способствует снижению выхода негабаритных кусков и повышает эффективность дробления горных пород. Полученные

результаты подтверждают возможность оптимизации параметров взрыва и повышения производительности горных работ за счёт рационального выбора схемы размещения детонаторов.

Ключевые слова: Сквжина, взрывчатое вещество, детонатор, размещение детонатора, дробление горных пород, энергия взрыва, напряжённое состояние, негабаритная порода, скорость детонации, открытые горные работы.

THE EFFECT OF DETONATOR PLACEMENT ON ROCK CRUSHING DURING EXPLOSIVE OPERATIONS IS IMPORTANT IN OPEN MINING

**Alimov Shokhriddin
Mukhammadovich**

Associate Professor, Department of
Mining, Almalyk State Technical
Institute, Almalyk, Uzbekistan.

**Akhmedov Ulugbek
Azamat ugli**

Assistant Professor, Department of
Mining, Almalyk State Technical
Institute, Almalyk, Uzbekistan

**Kairbaev Isa Bakhtiyar
uli**

Almalyk State Technical Institute,
Master's student, Almalyk,
Uzbekistan

Abstract. This paper investigates the effect of detonator placement within a borehole charge on rock fragmentation during blasting operations in open-pit mining. Different detonator positioning options, including placement at the bottom of the charge and at its central section, are analyzed with respect to stress distribution and explosive energy utilization. Theoretical analysis and field test results demonstrate that positioning the detonator at the center of the charge provides a more uniform distribution of blast energy, reduces the proportion of oversized rock fragments, and improves overall fragmentation efficiency. The findings indicate that optimizing detonator placement can significantly enhance blasting performance and increase the productivity of mining operations.

Keywords: Borehole, explosive, detonator placement, rock fragmentation, blasting operations, explosion energy, stress distribution, oversized rock, detonation velocity, open-pit mining.

Kirish. Tog' jinslarining xususiyatlarini hisobga olgan holda, portlovchi moddaning xususiyatlari, portlash parametrlari, detonatorni skvajina pastki qismiga joylashtirgandagi hamda detonatorni skvajinadagi zaryad uzunligining markaziga joylashtirganda portlatish ishlarini har tomonlama tahlilini qilish mumkinligi belgilandi. Detonatorni skvajinadagi zaryad uzunligining markaziga joylashtirilganda to'liq diapazonda pastki detonatorga qaraganda maydaroq maydalanishini ko'rish mumkin. Portlovchi skvajinalarda ikki xil holatda, o'rta va pastki qismiga joylashtirilgan detonatorlar tahlili ko'p olimlar tomonidan o'rganilgan. Portlovchi skvajinani vertikal holatda joylashtirib daslabki portlash kuchlanish holatlari tahlil qilinganda ko'p sonli natijalar shuni ko'rsatadiki, pog'onani portlatishda skvajinada detonatorlarni zaryad uzunligining markaziga joylashtirish bilan portlovchi pog'ona yonida uch o'qli cho'zilish bilan tavsiflangan kuchlanish konsentratsiyasining zonasini yaratadi, detonatorlarni skvajina pastki qismiga joylashtirilganda esa bu holat hosil bo'lmaydi. Bundan

tashqari, zaryad uzunligining markaziga joylashgan detonatorlar zaryadning pastki qismiga joylashtirilgan detonatorga qaraganda pog'ona zaboyi yaqinida ikki o'qli taranglik bilan katta kuchlanish konsentratsiyasining zonasini hosil qiladi [1, 2]. Uch o'qli va ikki o'qli kuchlanishlar bir o'qli kuchlanishga qaraganda tog' jinsini maydalash uchun yaxshiroq ekanligini hisobga olsak, zaryad uzunligining markaziga joylashgan detonatorlarda uch o'qli va ikki o'qli taranglikka ega bo'lgan bu qismlar yaxshiroq maydalanishga erishishga yordam beradigan muhim omil hisoblanadi. Qoyali va yarim qoyali tog' jinsli konlarda portlatish muhim ahamiyatga ega. Portlatishning eng muhim natijalaridan biri sifatida rudaning maydalanish darajasiga ta'sir qilishdir. Tog' jinslarini massiv holatdan maydalanigan holatga o'tkazish rudani massivdan ajratib olish darajasini oshirishi mumkin. Tog' jinslarining maydalanishi, portlatish parametrlari hamda holatlarini optimallashtirish orqali yaxshilanishi mumkin, masalan: burg'ilash rejasi, tiqinlash, qo'shimcha burg'ilash, detonatorni joylashtirish

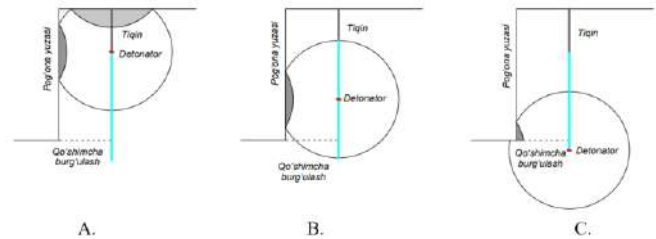
holati va qisqa seklashtirish vaqti orqali erishiladi [3].

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Detonator joylashuv holatlarini o'zgartirish orqali optimal-lashtirilgan portlashlarni amalga oshirish mumkin bo'lgan usul bo'lib, u ko'plab olimlar tomonidan sifatli tahlil bilan amalga oshirilgan. Detonator joylashish holati skvajina atrofidagi tog' jinsidagi kuchlanish va energiya taqsimotiga katta ta'sir ko'rsatishi va portlovchi modda zaryadi uzunligining markazida joylashgan detonator holati skvajina markazidan yuqorida joylashgan detonatorga qaraganda kuchlanish va energiya taqsimotini yaxshiroq ko'rsatishi aniqlangan. Konlarni ochiq usulda qazib olishda detonator holatining portlatish natijalariga ta'siri ham o'rganilgan. Olimlar tomonidan detonatorlarning to'liq miqyosida portlashining sinovlarini ham o'tkazib o'rganilgan, skvajinadagi zaryad uzunligining markaziga joylashtirilgan detonatorning holati odatdagi detonator joylashuviga, ya'ni zaryadning asosidan 1-2 m balandlikka o'rnatilganda nisbatan noo'lcham tog' jinlarini chiqishini 30% ga kamayishiga va o'rtacha bo'laklar o'lchamining chiqishini 11-30% gacha oshishi aniqlangan. Yuqoridagi tavsifga ko'ra, detonator joylashish holatining portlash natijalariga ta'sirini o'rganish uchun tadqiqotlar o'tkazilgan. Konlarni ochiq usulda qazib olishda portlatish sinovlarini o'tkazish jarayonida skvajinadagi zaryad uzunligining markaziga joylashtirilgan detonatorning portlash ko'rsatkichlari asosiga joylashgan detonatorning portlatish ko'rsatkichlariga qaraganda yaxshiroq maydalanish darajasini keltirib chiqarishini ko'rsatadi.

Nazariy tadqiqotlari shuni ko'rsatadiki, detonator joylashishi tog' jinlarining maydalanishida muhim rol o'ynaydi. Portlovchi skvajinadagi zaryad markazida joylashgan detonator tog' jinlarining maydalanishida sezilarli yaxshilanishga olib keladi. Kuchlanishning taqsimlanishi va energiya samaradorligi yuqori portlovchi modda detonatsiyasi natijasida hosil bo'lgan portlash to'lqini energiyasining yoki kuchlanishning taqsimlanishi detonatorning joylashuviga bog'liq bo'lib, silindrsimon zaryad bilan hech qachon sferik shaklga aylanmaydi [4]. Detonatsiya vaqti T_d detonatsiya tezligi (V_D), detonatorning joylashishi va zaryad uzunligiga quyidagicha:

$$T_d = \frac{L_{\max}}{V_D}$$

bu yerda L_{\max} - detonatordan portlovchi modda zaryadining asosigacha bo'lgan maksimal masofa [5]. Portlash vaqti qisqaroq bo'lganda portlovchi moddaning umumiy energiyasi qisqa vaqt ichida qamrab olinadi va tog' jinsi massiviga chiqariladi, natijada energiya konsentratsiyasi yuqori bo'ladi.



1-rasm. Detonatorning zaryadlangan skvajinadagi uchta holatlarida portlash kuchlarining taqsimlanishi ko'rsatilgan.

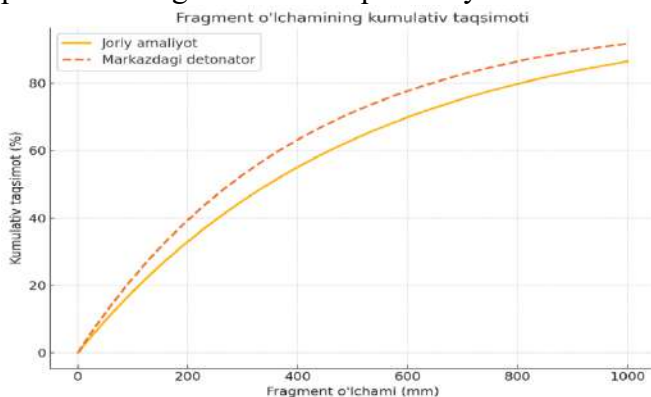
Detonatorning uchta turli A, B va C holatlarida kuchlanishning taqsimlanishi ko'rsatilgan. Qora doiralar (yoki yo'lar) siqilish kuchlanish to'lqinlarining frontlarini, kulrang yoki qorong'i sohalar esa qaytgan cho'zilish to'lqinlarini ko'rsatadi. Chunki tog' jinsining cho'zilishdagi mustahkamligi ko'pincha uning siqilishdagi mustahkamligidan ancha kichik bo'ladi; odatda cho'zilishdagi yuklanish tog' jinlarini portlatishda tog' jinlarining darz ketishidan 8-15 marta ustunlik qiladi. Shuni e'tiborga olgan holda, 2-rasm detonatorning turli holatlarida kuchlanish taqsimoti va energiya samaradorligi bo'yicha quyidagi nuqtalarni topishimiz mumkin:

A) Kuchlanish dastlab pog'onaning yuqori qismida tarqaladi, u yerdan qaytgan cho'zuvchi to'lqinlar tog' jinlari bo'laklarini yuqoriga qarab maydalanishini taminlaydi. Shunga ko'ra, pog'onaning yuqori qismida u yerdagi cho'zuvchi kuchlanish to'lqini ta'sirida darsliklar paydo bo'lishi mumkin. Shu bilan birga, detonatsiya natijasida yuzaga keladigan zarba to'lqini skvajina zaryadiga tarqalishi kerak. Zarb to'lqini tiqinning yuqori uchiga yetib kelganda tiqin teshikdan otilib chiqadi. Bu otilib chiqishdan keyin detonatsiya natijasida hosil bo'lgan gazlar ham otilib chiqishi kerak, bu esa portlash energiyasining yo'qolishiga olib keladi.

B) Zo'riqish dastlab portlatiladigan tog' jinsiga taqsimlanadi. Xususan, cho'zuvchi to'lqinlar

faqat masivda joylashgan va detonatsiya energiyasi asosan parchalash uchun tog' jinsiga ta'sir etadi. Bizga shu kerak. Shunday qilib, portlovchi modda portlashi tugagunga qadar energiya yo'qotilishi kam yoki umuman bo'lmaydi.

C) Kuchlanish dastlab pog'ona asosining ostida taqsimlanadi va cho'zilishdagi buzilish pog'ona asosining sathidan boshlanadi. Asos ostida erkin sirt yo'qligi sababli, siqilish to'liqlari asosan seysmik to'liqlar shaklida tog' jinslarining uzoq maydoniga tarqaladi va massivdagi tog' jinslari parchalanishiga katta hissa qo'shmaydi.



2-rasm. Portlatish ishlarida detonatorlarning joylashishining tog' jinsining maydalanishiga ta'siri grafigi.

Natijalar va muhokama. Karyerlarda portlatish ishlarida tog' jinslarining maydalanishiga ta'sir etuvchi tog' jinslarining holati, portlash xususiyatlari va portlash parametrlari kabi omillar vaqt o'tishi bilan o'zgarishi muqarrar. Portlatish ishlarida maydalanish natijalarini taqqoslash uchun tog' jinslarining xususiyatlari va solishtirma zaryad maydalanishiga ta'sir qiluvchi eng muhim omillardan biri ekanligi taxmin qilingan. Portlatishda qo'llaniladigan portlovchi modda turi va portlovchi skvajina parametrlariga bog'liq hamda portlatish ikki turdagi detonator joylashuvini o'z ichiga oladi: skvajinadagi zaryadning markaziga joylashgan detonator va zaryadning asosidan 1-2 m balandlikda joylashgan detonator. Skvajinadagi zaryad uzunligining markaziga joylashgan detonator uchun o'rtacha o'lcham 193-223 mm oralig'ida o'zgarib turadi va o'rtacha 205,7 mm ni tashkil etadi deb olinsa, skvajina asosidan 1-2 metr uzoqlikda joylashgan detonator portlatish uchun minimal o'lcham 221 mm ni tashkil etilgan, bu zaryadning o'rtasida joylashgan detonatorga qaraganda 7,4% ga

katta. Shuningdek, zaryadning o'rtasida joylashgan detonator 20% dan 30% gacha massasi asosga joylashtirilgan detonatornikiga qaraganda kichikroq bo'ladi.

Bundan tashqari, skvajinadagi zaryad uzunligining o'rtasida joylashgan detonator uchun noo'lchamli yaniy $L > 1$ m bo'laklarning o'rtacha foizi asosga nisbatan 1-2 m balandlikda joylashgan detonator nisbatan 55,4% ga kamayadi. Boshqa tomondan, asosga nisbatan 1-2 m uzoqlikda joylashga detonator uchun mayda bo'laklar foizi $L < 2,5$ sm 6,54 dan 7,87% gacha o'zgarib, o'rtacha 7,01% ni tashkil etadi, asosga nisbatan 1-2 m uzoqlikda joylashga detonator uchun esa 6,08-6,41% oralig'ida bo'lib o'rtacha 6,2% ni tashkil etadi. Bu esa zaryadning o'rtasida joylashgan detonator uchun asosga nisbatan 1-2 m uzoqlikda joylashga detonatorga nisbatan mayda bo'laklarning 13% ga oshishini ko'rsatadi. Bo'lak o'lchamlari uchun tasvirni qayta ishlash cheklanganligi sababli 2,5 sm dan kichik bo'lgan bo'laklarni aniq ajratib bo'lmaydi. Bunda 2,5 sm dan kichik bo'lgan bo'laklar portlatishda mayda bo'laklar sifatida qaralgan. Zaryadning o'rtasida joylashgan detonatorli portlatishlarning solishtirma zaryadi 0,99-1,09 kg/m³ oralig'ida o'zgaradi, asosga nisbatan 1-2 m uzoqlikda joylashga detonatorli portlatishlarning solishtirma zaryadi esa 1,05-1,25 kg/m³ oralig'ida o'zgaradi. Zaryadning o'rtasida joylashgan detonatorning solishtirma zaryadlari, asosga nisbatan 1-2 m uzoqlikda joylashga detonatornikidan kichik bo'lishiga qaramasdan, zaryadning o'rtasida joylashgan detonator qo'llanilgan portlatishlar mayda bo'laklarni hosil qilgan. Bu balandlik zaryad uzunligining o'rtasida joylashgan detonator joylashuvining maydalanishga qo'shgan hissasini yoritadi.

Xulosa. Kuchlanish to'liqlari tahlili asosida shunday xulosa qilish mumkinki, zaryad markazida joylashgan detonator, detonatorning odatdagi joylashuviga nisbatan quyidagi afzalliklarga ega: Skvajinadagi butun portlovchi modda zaryadini portlatganda tog' jinsida kuchlanish to'liqini energiyasi ko'proq taqsimlanadi. Detonatsiyalanish vaqti taxminan 40% ga qisqaradi, natijada parchalanadigan tog' jinsida energiya konsentratsiyasi va kuchlanish amplitudasi yuqori bo'ladi.


Detonatorning markazida joylashgan holati pog'ona zaboyi yaqinida uch o'qli taranglik bilan

kuchlanish konsentratsiyasi sohasini berishi, asosga nisbatan 1-2 m balandlikda joylashgan detonator holatiga qaraganda portlash zonasida ikki o'qli taranglik bilan katta kuchlanish konsentratsiyasi portlatgichning markazida joylashgan holati, asosga nisbatan 1-2 m balandlikda joylashgan detonator holatiga qaraganda portlash zonasida ikki o'qli taranglik bilan katta kuchlanish konsentratsiyasi maydonini hosil qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Ylitalo, R., & Zhang, Z. X. (2021). Effect of detonator position on rock fragmentation: Full-scale field tests at Kevitsa open pit mine. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 147, 104918. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2021.104918>
- [2] Zhang, Z. X. (2014). Effect of double-primer placement on rock fracture and ore recovery. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 71, 208–216. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2014.03.020>
- [3] Zhang, Z. X. (2016). *Rock fracture and blasting: Theory and applications*. Oxford: Elsevier.
- [4] Zhang, Z. X. (2005). Increasing ore extraction by changing detonator positions in LKAB Malmberget mine. *International Journal of Blasting and Fragmentation*, 9(1), 29–46. <https://doi.org/10.1080/13855140500082600>
- [5] Шамаев, М. К., & Алимов, Ш. М. (2021). Обеспечение устойчивости бортов при ведении буровзрывных работ. *Central Asian Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 2(4), 83–88.
- [6] Алимов, Ш. М., & Ташкулов, А. А. (2022). Обоснование оптимальных параметров эффективного регулирования степени дробления. *Oriental Renaissance: Innovative, Educational, Natural and Social Sciences*, 2(5/2), 475–487.

UO‘K: 622.7

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.39

QO‘RG‘OSHIN XLORID ERITMASIDAN QO‘RG‘OSHINNI CHO‘KTIRISH QONUNIYATLARINI TADQIQ QILISH



Saidaxmedov Aktam Abdisamiyevich

Navoiy davlat konchilik va texnologiya universiteti dotsenti, DSc, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: aktam.saidaxmedov@bk.ru
ORCID ID: 0000-0002-0482-3413

Annotatsiya. Maqolada mis eritish zavodining konverter changi va sulfat kislota sexining shlamleri tarkibidagi qo‘rg‘oshinni tuzli tanlab eritish orqali eritmaga o‘tkazilgandan so‘ng eritmadagi qo‘rg‘oshinni cho‘ktirishning usullari va qonuniyatlarni tadqiq qilish natijalari keltirilgan. Eritmadan qo‘rg‘oshinni cho‘ktirishning sulfatlash, sulfidlash va karbonatlash usullari tadqiq qilingan va har bir cho‘ktirish usuli uchun vaqt, pH va haroratga bog‘liq holda cho‘ktirishning optimal parametrlari o‘rnatilgan. Cho‘ktirishning usullari texnik, iqtisodiy va ekologik jihatdan taqqoslanib, optimal usul bo‘yicha xulosalar berilgan.

Kalit so‘zlar: konverter changi, shlam, sulfat kislotasi, natriy karbonati, kek, eritma, filtrlash, harorat, qo‘rg‘oshin, kumush.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОСАЖДЕНИЯ СВИНЦА ИЗ РАСТВОРА ХЛОРИДА СВИНЦА

Саидохмедов Актам Абдисамиевич

Доцент, DSc, Навоийский Государственный Горно-технологический Университете, Навои, Узбекистан

Аннотация. В статье представлены результаты исследования методов и закономерностей осаждения свинца в растворе после выщелачивания свинца из конвертерной пыли медеплавильного завода и шламов сернокислотного цеха. Исследованы методы сульфатного, сульфидного и карбонатного осаждения свинца из раствора и установлены оптимальные параметры осаждения для каждого метода осаждения в зависимости от времени, pH и температуры. Методы осаждения были сопоставлены с технической, экономической и экологической точки зрения, и были сделаны выводы об оптимальном методе.

Ключевые слова: пыль конвертера, шлам, серная кислота, карбонат натрия, kek, раствор, фильтрация, температура, свинец, серебро.

STUDYING THE LAWS OF LEAD PRECIPITATION FROM A LEAD CHLORIDE SOLUTION

Saidahmedov Aktam Abdisamiyevich

Associate Professor, Navoi State University of Mining and Technology, DSc, Navoi, Uzbekistan

Abstract. The article presents the results of research on methods and patterns for precipitating lead in a solution after leaching lead from converter dust of the copper smelting plant and sulfuric acid tailings. Methods of sulfate, sulfide, and carbonate precipitation of lead from a solution were investigated, and

optimal precipitation parameters were established for each precipitation method depending on time, pH, and temperature. Sedimentation methods were compared from technical, economic, and environmental perspectives, and conclusions were drawn about the optimal method.

Keywords: converter dust, sludge, sulfuric acid, sodium carbonate, cake, solution, filtration, temperature, lead, silver.

Kirish. “Olmaliq KMK” AJ MEZ changlari va qo‘rg‘oshin-vismutli shlamlari mis, rux, qo‘rg‘oshin va nodir metallarga boy bo‘lib, ushbu mahsulotlarni qayta ishlashda ular tarkibidan qo‘rg‘oshinni dastlab ajratib olib, qoldiqni pirometallurgiya usulida qayta ishlashga yuboriladi. Qo‘rg‘oshinni ajratib olish gidrometallurgiya usulida amalga oshirilib, natriy xloridida tanlab eritilganda eritmaga o‘tadi va bu holatda qo‘rg‘oshin bilan birga dastlabki mahsulot tarkibidagi kumushning ham bir qismi eritmaga o‘tadi. Eritmadan qo‘rg‘oshinni cho‘ktirishning bir qancha usullari mavjud. Qo‘rg‘oshin xlorid eritmasidan qo‘rg‘oshinni sulfatlab cho‘ktirishda xlor o‘rnini sulfat ioniga egallaydi, natijada erimaydigan qo‘rg‘oshin sulfat hosil bo‘lib, cho‘kmaga tushadi. Bu qo‘rg‘oshinni eritmaning boshqa komponentlaridan oson ajratib olish imkonini beradi [1].

Qo‘rg‘oshin xloridini sulfatlash jarayoni quyidagi reaksiya bo‘yicha boradi:



Qo‘rg‘oshin xlorid eritmasidan qo‘rg‘oshinni cho‘ktirish uchun natriy karbonat bilan o‘zaro ta’sirlashtirib, hosil bo‘lgan qo‘rg‘oshin karbonatini cho‘ktirishga asoslangan karbonizatsiya usuli ham keng qo‘llanildi [2].

Texnologik jihatdan jarayon parametrlarini tartibga solish, eritmalarni regeneratsiyalash imkoniyati va cho‘kmani qayta ishlashning osonligi – texnik soda yordamida karbonatlash usulining afzalligi hisoblanadi.

Natriy karbonat qo‘rg‘oshin xloridining suvli eritmasiga qo‘shilganda karbonizatsiya quyidagi reaksiyaga ko‘ra boradi [1]:

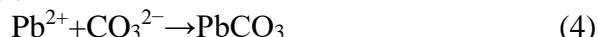


Reaksiyaning aniq mexanizmi quyidagicha kechadi:

Qo‘rg‘oshin xlorid (PbCl_2) va natriy karbonat (Na_2CO_3) eritmalarining suvda dissotsiatsiyalanishi natijasida qo‘rg‘oshin (Pb^{2+}), xlorid (Cl^-), natriy (Na^+) va karbonat (CO_3^{2-}) ionlari hosil bo‘ladi:



Qo‘rg‘oshin (Pb^{2+}) ionlari va karbonat (CO_3^{2-}) ionlari o‘zaro reaksiyaga kirishib, cho‘kma – qo‘rg‘oshin karbonati (PbCO_3) hosil bo‘lishiga olib keladi:



Cho‘kma – qo‘rg‘oshin karbonat (PbCO_3) amorf yoki kristallik shaklda hosil bo‘lishi mumkin, uning hosil bo‘lishi eritmaning harorati, pH va natriy karbonat miqdoriga bog‘liq.

Materiallar va usullar. Tadqiqotlar uchun «Olmaliq KMK» AJ mis eritish zavodida sulfat kislotasi ishlab chiqarish jarayonida gazlarni suvli tozalashdan hosil bo‘ladigan shlamlar hamda mis shteynini konverterlash vaqtida paydo bo‘ladigan mayda chang ishlatildi. Shlam va changni tuzli tanlab eritish jarayoni sig‘imi 2 l bo‘lgan harorati sozlanadigan reaktorda olib borildi. Eritmadan qo‘rg‘oshinni cho‘ktirish jarayoni ham ushbu reaktorda olib borildi. Eritmani filtrlash ПВФ-47/3Б markali vakuum filtr uskunasida amalga oshirildi. Eritmadan qo‘rg‘oshinni sulfatlab cho‘ktirish uchun konsentrlangan sulfat kislotasi, karbonatlab cho‘ktirish uchun esa texnik natriy karbonat ishlatildi.

Quyida qo‘rg‘oshin xlorididan qo‘rg‘oshinni sulfat kislotasi va natriy karbonat yordamida cho‘ktirish jarayonining qonuniyatlari va sharoitlari tadqiq qilindi.

Natijalar va ularning muhokamasi. Shlam va changni tuzli tanlab eritilgandan so‘ng hosil bo‘lgan qo‘rg‘oshin xlorid eritmasidan qo‘rg‘oshinni sulfatlab cho‘ktirish bo‘yicha tadqiqotlar davomida turli harorat va sulfat kislotasi konsentratsiyalarida PbSO_4 cho‘kmasi to‘liq hosil bo‘lishini vaqtga bog‘liqligi o‘rganildi [3].

Buning uchun laboratoriya sharoitida tuzli tanlab eritish va eritmani filtrlashdan so‘ng olingan qo‘rg‘oshin xloridli eritmani issiqlikbardosh shisha idishda uning tarkibidan qo‘rg‘oshinni sulfatlab cho‘ktirish konsentrlangan sulfat kislotasining 25, 30, 35 va 40 g/l sarflarida 20, 40, 60 va 80 °C haroratlarda tajribalar o‘tkazildi.

Har qaysi rejimda sulfatlashdan so'ng hosil bo'lgan cho'kma vakuum filtrda filtrlanib, suyuqlikdan ajratildi va kek tarkibidagi qo'rg'oshinning miqdori va uning ajralishi aniqlandi. Tadqiqot natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

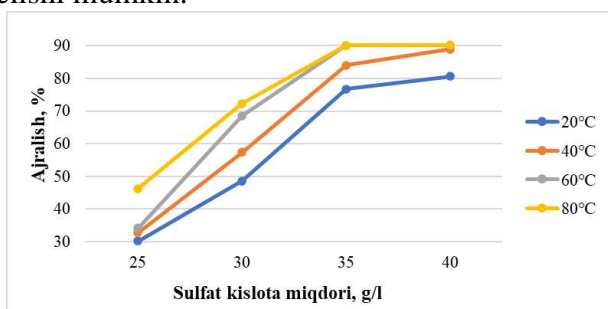
Sulfatlab cho'ktirishda qo'rg'oshinni cho'kma tarkibiga ajralishiga sulfat kislotasi sarfi va haroratning ta'siri

	Kek tarkibiga qo'rg'oshinning ajralishi, %							
	20°C		40°C		60°C		80°C	
	Pb	Ag	Pb	Ag	Pb	Ag	Pb	Ag
25	30,2	8,1	32,8	8,6	34,2	8,7	46,3	9,1
30	48,6	10,3	57,4	12,0	68,5	14,6	72,3	14,8
35	76,8	15,0	84,1	17,2	90,1	19,1	90,2	19,2
40	80,7	15,6	89,0	17,7	90,2	19,2	90,3	19,3

Qo'rg'oshin xloridni muvaffaqiyatli sulfatlash uchun birqancha shartlarga rioya qilish muhimdir, ya'ni, sulfat kislotasi konsentrat-siyasining o'zgarishi va jarayon olib borilayotgan harorat juda ahamiyatli. Bundan tashqari aralashtirish jadalligi ham ta'sir ko'rsatadi [4].

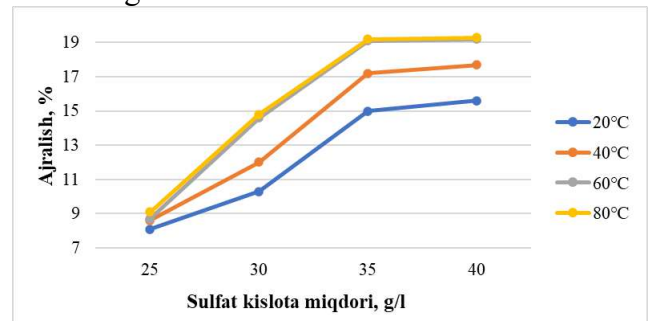
Sulfatlash jarayoni reaksiyasi xona haroratida ham, yuqori haroratda ham sodir bo'lib, haroratning ko'tarilishi cho'kmaga tushish jarayonini tezlashtirishi kuzatildi. Harorat reaksiya tezligiga va cho'kma hosil bo'lish darajasiga sezilarli ta'sir ko'rsatib, u qancha yuqori bo'lsa, reaksiya tezligi shuncha oshib bordi.

Tadqiqot natijalaridan (1-jadval va 1-rasm) ko'rinadiki, reaksiya samarali kechishi uchun yetarli darajada konsentrlangan sulfat kislotaga qo'shish muhimdir. Kislotaning kuchsiz eritmalari (25-30g/l) qo'rg'oshin sulfatning to'liq hosil bo'lishini ta'minlamaydi. Kislotaga konsentrat-siyasining juda oshib ketishi jarayonni tezlashtirsada, boshqa mahsulotlar hosil bo'lishiga yoki reaksiya stexiometriyasining buzilishiga olib kelishi mumkin.



1-rasm. Sulfatlab cho'ktirishda qo'rg'oshinni kek tarkibiga ajralishining kislota sarfi va haroratga bog'liqligi.

Kislotaga sarfining miqdori 35g/l ga yetguncha qo'rg'oshin va kumushning kekga ajralishi jadal sur'atda o'sib borishi kuzatildi. Keyinchalik kislotaga miqdorining ortishi eritmadagi qo'rg'oshin va kumushning kekga ajralishiga sezilarsiz ta'sir ko'rsatdi. 1 va 2-rasmlardan ko'rinadiki, metallarning cho'kmaga ajralishining maqbul qiymatlariga kislotaga sarfining miqdori 35g/l va harorat 60°C bo'lganda erishildi.



2-rasm. Sulfatlab cho'ktirishda kumushni kek tarkibiga ajralishiuning kislota sarfi va haroratga bog'liqligi.

Qo'rg'oshin xloridni sulfatlash jarayoni qo'rg'oshinni cho'ktirish imkonini bersada, qo'rg'oshin va uning birikmalarining zaharli ekanligini unutmaslik lozim, bundan tashqari sulfatlash jarayoni qo'shimcha kislotaga chidamli uskunalarni talab qiladi, zararli oqavalar miqdorini oshiradi va mehnat sharoitini yomonlashtiradi [6].

Qo'rg'oshin xloridini natriy karbonat yordamida karbonizatsiyalash jarayonida bir necha muhim omillar mavjud bo'lib, ular reaksiyaning samaradorligi va hosil bo'ladigan mahsulotlarning sifatini belgilaydi. Bu omillar jarayonni muvaffaqiyatli va yuqori samara bilan amalga oshirishga yordam beradi. Qo'rg'oshin xloridli eritmadan qo'rg'oshinni karbonatlab cho'ktirish bo'yicha o'tkazilgan tadqiqotlarda eritmaning pH muhiti, harorat va natriy karbonatining miqdorini jarayonning borishiga ta'siri o'rganildi.

Buning uchun dastlab natriy karbonat eritmasi tayyorlab olindi. Qo'rg'oshin xlorid eritmasi issiqlikka bardoshli shisha idishga quyilib, qizdirilib mexanik aralashtirgichda davomiy aralashtirib turilgan holda unga natriy karbonat eritmasi muhit pH i o'lchangan holda sekin quyildi (jarayon pH 7,5; 8; 8,5; 9 bo'lgunga qadar amalga oshirildi va 9,5 ga yetganda to'xtatildi). Tadqiqotlar 15-65°C haroratlarda, texnik kaustik sodaning 170

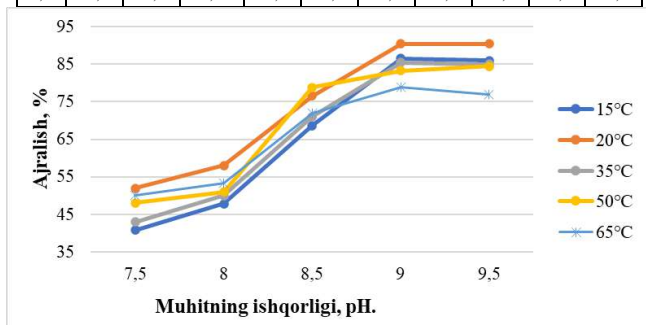
g/l miqdoridagi eritmasini qo'shish bilan olib borildi. Tajriba natijalari 2-jadvalda keltirilgan.

Qo'rg'oshin xlorididan natriy karbonati yordamida qo'rg'oshinni cho'ktirish jarayonida eritma tarkibidagi kumushning ham bir qismi kek tarkibiga o'tadi.

2-jadval

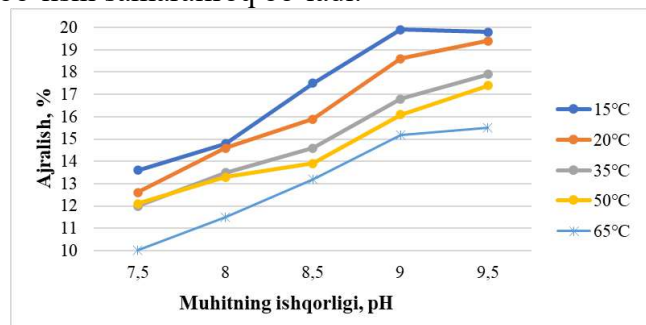
Karbonatlab cho'ktirishda qo'rg'oshinni kek tarkibiga ajralishiga pH va haroratning ta'siri

pH	Kek tarkibiga ajralishi, %									
	15°C		20°C		35°C		50°C		65°C	
	Pb	Ag	Pb	Ag	Pb	Ag	Pb	Ag	Pb	Ag
7,5	40,8	13,6	52,0	12,6	43,0	12,0	48,0	12,1	50,0	10,0
8	47,8	14,8	58,0	14,6	50,0	13,5	51,0	13,3	53,2	11,5
8,5	68,6	17,5	76,6	15,9	71,0	14,6	78,8	13,9	72,0	13,2
9	86,5	19,9	90,4	18,6	85,4	16,8	83,3	16,1	78,9	15,2
9,5	86,0	19,8	90,45	19,4	85,0	17,9	84,5	17,4	77,0	15,5



3-rasm. Karbonatlab cho'ktirishda qo'rg'oshinni kek tarkibiga ajralishini pH va haroratga bog'liqligi.

Tadqiqot natijalaridan ko'rinadiki, karbonatlash jarayonida eritmaning harorati ko'tarilishi bilan qo'rg'oshin va kumushning cho'kmaga tushishi tezlashdi. Yuqori haroratda reaksiya tezlashadi va qo'rg'oshin karbonatining hosil bo'lishi samaraliroq bo'ladi.



4-rasm. Karbonatlab cho'ktirishda kumushni kek tarkibiga ajralishini pH va haroratga bog'liqligi.

Harorat 20°C gacha ko'tarilguncha ham qo'rg'oshinning, ham kumushning cho'kmaga ajralishi ortib bordi va keyinchalik haroratning ko'tarilishi ajralishga salbiy ta'sir qilib boshlaydi.

Natriy karbonati va qo'rg'oshin xloridining eritmadagi konsentratsiyasi ularning reaksiyaga kirishish ehtimoliga va reaksiya tezligiga ta'sir qiladi, konsentratsiya yuqori bo'lganda reaksiya tezroq kechadi va qo'rg'oshin karbonatining (PbCO₃) hosil bo'lishi samaraliroq bo'ladi. Agar reaksiya vaqti juda uzoq bo'lsa, natijada moddalarning taqsimlanishi yoki butun reaksiyaning samaradorligi pasayishi mumkin. Boshqacha qilib aytganda, reaksiya vaqti va haroratning to'g'ri miqdori reaksiyaning samaradorligini belgilaydi. Tajribalar davomida kuzatildiki, karbonatlash jarayonining dastlabki 15-20 daqiqasida cho'kmaga tushish jadal sur'atda kechdi, keyingi 10 daqiqa davomida eritmada qolgan qo'rg'oshin sekin asta cho'kishda davom etdi.

3 va 4-rasmlardan ko'rinadiki, mos holda qo'rg'oshin va kumushning cho'kmaga tushishi pH 8,8-9 ga yetganda optimal qiymatga erishadi, pH ning 9 dan ortishi ajralishga sezilarsiz ta'sir eta boshlaydi.

Xulosalar. Eritmadan qo'rg'oshin xloridini sulfatlash va sulfidlash jarayonlari qo'rg'oshinni cho'ktirish imkonini bersada, qo'rg'oshin va uning sulfat hamda sulfidli birikmalarini zaharli ekanligi, noxush o'tkir hidi mavjuliigi, bundan tashqari sulfatlash jarayoni qo'shimcha kislotaga chidamli uskunalarni talab qilishi, zararli oqavalar miqdorini ortishi mehnat sharoitini yomonlashtiradi.

Qo'rg'oshin xloridining karbonizatsiyasi qo'rg'oshin xlorid eritmasidan qo'rg'oshinni hech qanday oldindan tayyorgarliksiz cho'ktirish imkonini beradi. Ekologik xavfsizlik va mavjud konstrukcion po'latlardan yasalgan uskunalaridan foydalanish imkoniyati ushbu jarayonning afzalligini ta'minlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Хасанов, А. С., Саидахмедов, А. А., Мирзанова, З. А., & Умаралиев, И. С. (2024). Переработка продуктов и отходов газоочистки медного производства. Навоий: Издательство «Navoiy».

- [2] Саидахмедов, А. А. (2023). Технология извлечения цветных металлов из конвертерной пыли медеплавильных заводов. Навоий: Издательство «Navoiy».
- [3] Saidaxmedov, A. A., & Xasanov, A. S. (2024, April 18–19). Konverter changini tuzli tanlab eritishda eritmaga kumushning ajralishiga NaCl konsentratsiyasining ta'siri. In Zarafshon vohasini kompleks innovatsion rivojlantirish: yutuqlari, muammolari va istiqbollari (V-xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari, p. 189). Navoiy.
- [4] Saidaxmedov, A. A. (2024, April 18–19). Mis sanoati chang-gazlarini tozalash mahsulotlari va chiqindilarini kompleks qayta ishlash imkoniyatlari. In Zarafshon vohasini kompleks innovatsion rivojlantirish: yutuqlari, muammolari va istiqbollari (V-xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari, p. 195). Navoiy.
- [5] Аллабергенев, Р. Д., Ахмедов, Р. К., & Ходжаев, О. Ф. (2013). Комплексная переработка отходов цветной металлургии. Ташкент: Издательство «Университет».
- [6] Хасанов, А. С., Саидахмедов, А. А., & Бабаев, М. Ш. (2024, March 14–15). Утилизация продуктов и отходов газоочистки медного производства с извлечением ценных металлов. In Ресурсосберегающие технологии в минерально-индустриальном мегакомплексе в условиях устойчивого развития экономики (Материалы международной научно-практической конференции, pp. 277–278). Алматы.

UO‘K: 622.83

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.40

YER OSTI LAHIMLARIDA TUSHAYOTGAN KON BOSIMINING TA‘SIRINI ANIQLASH VA ASOSLASH



**Karimov Yoqub
Latipovich**

Qarshi davlat texnika universiteti,
PhD, dotsent, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: karimov_6613@mail.ru



**Latipov Zuxriddin Yoqub
o‘g‘li**

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



**Islomov Mirjalol Alisher
o‘g‘li**

Qarshi davlat texnika universiteti,
magistrant, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: mrjillislomov@gamil.com



**Amirov Ramz Rashid
o‘g‘li**

Qarshi davlat texnika universiteti,
magistrant, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail:
amirovramzrashidogli@gamil.com

Anotatsiya. Ushbu maqolada yer osti lahimlarida shakllanadigan kon bosimining tabiatini, uning lahim turg‘unligiga ta‘siri va hisoblash usullarini aniqlash masalalari yoritilgan. Tog‘ jinslarining gravitatsion va tektonik kuchlanishlar ta‘sirida deformatsiyalanishi, shiftning o‘pirilib tushishi, devorlarning buzilishi kabi xavfli jarayonlarning mexanizmi ko‘rib chiqiladi. Kon bosimini aniqlashda M.M. Protodyakonov va P.M. Simbarevich tomonidan taklif etilgan nazariy yondashuvlar, shuningdek, VNIMI tomonidan ishlab chiqilgan amaliy hisoblash formulalari tahlil qilinadi.

Kalit so‘zlar: Kon bosimi, yer osti lahimi, Protodyakonov gipotezasi, Simbarevich usuli, tog‘ jinslari deformatsiyasi, mustahkamlagich, geomexanik tahlil, qiya lahim, gorizontallahim, kuchlanish holati, turg‘unlik, konchilik inshootlari.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАДАЮЩЕГО ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ

**Каримов Ёқуб
Латипович**

Каршинский государственный
технический университет,
кандидат наук, доцент, Карши,
Узбекистан.

**Латипов Зухриддин
Ёқуб угли**

Каршинский государственный
технический университет,
кандидат наук, доцент, Карши,
Узбекистан.

**Исламов Мирджалол
Алишер угли**

Каршинский государственный
технический университет,
магистрант, Карши, Узбекистан

**Амиров Рамз Рашид
угли**

Каршинский государственный
технический университет,
магистрант, Карши, Узбекистан

Аннотация. В данной статье освещены вопросы определения природы горного давления, формирующегося в подземных выработках, его влияния на устойчивость выработок и методы расчета. Рассматривается механизм таких опасных процессов, как деформация горных пород под действием гравитационных и тектонических напряжений, обрушение потолка, разрушение стен. Проанализированы теоретические подходы к определению горного давления, предложенные М.М. Протодьяконовым и П.М. Симбаревичем, а также практические расчетные формулы, разработанные ВНИМИ.

Ключевые слова: Горное давление, подземная выработка, гипотеза Протодьяконова, метод Симбаревича, деформация горных пород, крепление, геомеханический анализ, наклонная выработка, горизонтальная выработка, напряженное состояние, устойчивость, горные выработки.

DETERMINATION AND JUSTIFICATION OF THE INFLUENCE OF FALLING ROCK PRESSURE IN UNDERGROUND WORKINGS

Karimov Yokub

Latipovich

*Karshi State Technical University,
PhD, Associate Professor, Karshi,
Uzbekistan.*

Latipov Zukhriddin

Yakub ugli

*Karshi State Technical University,
PhD, Associate Professor, Karshi,
Uzbekistan.*

Islamov Mirjalol Alisher

ugli

*Karshi State Technical University,
Master's student, Karshi,
Uzbekistan*

Amirov Ramz Rashid

ugli

*Karshi State Technical University,
Master's student, Karshi,
Uzbekistan*

Abstract. *This article covers the nature of rock pressure formed in underground workings, its influence on the stability of workings, and the issues of determining calculation methods. The mechanism of dangerous processes, such as the deformation of rocks under the influence of gravitational and tectonic stresses, the collapse of ceilings, and the destruction of walls, is considered. The theoretical approaches proposed by M.M. Protodyakonov and P.M. Simbarevich in determining rock pressure, as well as the practical calculation formulas developed by VNIMI, are analyzed.*

Keywords: *Rock pressure, underground working, Protodyakonov hypothesis, Simbarevich method, rock deformation, support, geomechanical analysis, inclined working, horizontal working, stress state, stability, mining structures.*

Kirish. Yer osti konchilik ishlarini olib borishda lahimlar va boshqa konchilik inshootlarining turg'unligini ta'minlash muhim texnik va xavfsizlik masalalaridan biri hisoblanadi. Kon qazib olish jarayonida tog' jinslari massivining tabiiy muvozanati buziladi va natijada gravitatsion hamda tektonik kuchlanishlar ta'sirida kon bosimi shakllanadi. Ushbu bosim lahim shiftining o'pirilib tushishi, devorlarning buzilishi, mustahkamlagich elementlarining ishdan chiqishi kabi xavfli holatlarni keltirib chiqarishi mumkin. Shuning uchun yer osti lahimlarida tushayotgan kon bosimining miqdorini aniqlash, uning ta'sir mexanizmini tahlil qilish va asoslash konchilik amaliyotida dolzarb ilmiy-amaliy masala hisoblanadi.

Kon bosimining shakllanishi tog' jinslarining fizik-mexanik xossalari, geologik tuzilishi, qatlamlarning yotish sharoiti, lahim chuqurligi va o'lchamlari bilan chambarchas bog'liqdir. Tog' jinslari massivida kuchlanishlarning qayta taqsimlanishi natijasida lahim atrofida murakkab kuchlanish-deformatsiya holati vujudga keladi. Bu holat lahim turg'unligiga bevosita ta'sir ko'rsatib, mustahkamlagich konstruksiyasini tanlash va uning hisobiy parametrlarini belgilashni talab etadi.

Ilmiy adabiyotlarda kon bosimini aniqlash bo'yicha bir qator nazariy va amaliy yondashuvlar ishlab chiqilgan. Jumladan, M.M. Protodyakonov tomonidan taklif etilgan sochiluvchan tog' jinslari uchun bosimni aniqlash gipotezasi hamda

P.M.Simbarevichning qatlamlararo ta'sirni hisobga oluvchi usuli konchilik amaliyotida keng qo'llanib kelinmoqda. Shuningdek, VNIMI tomonidan ishlab chiqilgan hisoblash formulalari turli geologik sharoitlarda lahim mustahkamlagichiga tushadigan bosimni baholash imkonini beradi.

Hozirgi kunda yer osti konlarining chuqurlashuvi, geologik sharoitlarning murakkablashuvi va ishlab chiqarish hajmlarining ortishi kon bosimini aniq va ishonchli aniqlashga bo'lgan ehtiyojni yanada oshirmoqda. Shu sababli kon bosimining shakllanish qonuniyatlarini chuqur o'rganish, mavjud nazariy yondashuvlarni tahlil qilish hamda ularni amaliy sharoitlarga moslashtirish muhim ilmiy ahamiyatga ega.

Ushbu maqolada yer osti lahimlarida tushayotgan kon bosimining tabiati, uning lahim turg'unligiga ta'siri va hisoblash usullari tahlil qilinadi. Protodyakonov va Simbarevich gipotezalari hamda VNIMI usullari asosida kon bosimini aniqlashning nazariy va amaliy jihatlari yoritilib, qiya va gorizontallahimlar uchun kuchlanish taqsimoti masalalari asoslab beriladi.

Adabiyot tahlili va metodlar. Yer osti lahimlarida tushayotgan kon bosimi - yer osti lahimlaridagi tog' jinslarining gravitatsiya va tektonik kuchlanishlar ta'sirida deformatsiyalanish va yemirilish jarayoni bo'lib, lahim shiftining o'pirilib tushishiga olib keladi. Buning natijasida lahim chegaralarining buzilishi, lahim devorlarida kuchli qulashlar ko'rinishida namoyon bo'ladi,

shuningdek, hayot va texnika uchun xavf tug‘diradi, lahimlarni mahkamlash va ularni mustahkamlash bo‘yicha maxsus chora-tadbirlarni talab qiladi.

Yer osti lahimlarida tushayotgan kon bosimining ta'sirini aniqlash va asoslash uchun lahimning geologik sharoiti, chuqurligi va o‘tkazilayotgan kon bosimi tahlil qilinadi. Bosimning ta'siri quyidagilarni o‘z ichiga oladi: lahim devorlarining deformatsiyasi, g‘isht va tuproqning qulashi, shuningdek, yer osti suvlari oqimining o‘zgarishi. Bu ta'sirlarni aniqlash va asoslash uchun, masalan, ko‘p o‘lchovli ko‘chirish, qatlamlar stressini o‘lchash, geologik tahlil, va bosim manbalarini tahlil qilish usullari qo‘llaniladi.

Natijalar va muhokama. Ushbu masalalarni hal qilishda ulug‘ rus olimlari M. M. Protodyakonov va P. M. Simbarevich kon bosimini hisoblash uchun ikki guruh gipotezalarni ilgari surishgan: bular kuchlar va deformatsiyalar gipotezasi bo‘lib sochiluvchan yoki qisman sochiluvchan tog‘ jinslarida (yoriqlari kam bog‘lanishli) mustahkamligichga bo‘lgan bosimni balandligi H bo‘lgan vertikal tirgak devorga gruntning bosimi nazariyasiga muvofiq aniqlash mumkinligiga asoslangan.

Prof. M. M. Protodyakonovning gipotezasiga ko‘ra, sirpanish prizmasi hosil bo‘lishi natijasida bosim

$$D = \frac{\rho H^2}{2} \cdot tg^2 \cdot \left[\frac{90^\circ - \varphi}{2} \right] \quad (1)$$

Lahim devorning kvadrat birligiga to‘g‘ri keladigan kon bosimi miqdori

$$\frac{dD}{dH} = P' = \rho H tg^2 \cdot \left[\frac{90^\circ - \varphi}{2} \right] \quad (2)$$

Stvolning bir jinsli bo‘lmagan tog‘ jinslari orasidan kesib o‘tishda φ burchakning o‘rtacha og‘irlikdagi qiymati tog‘ jinslari mustahkamligining o‘rtacha og‘irlikdagi koeffitsiyenti $f_{o'r}$ bo‘yicha hisoblanadi.

$$\varphi_{o'r} = \operatorname{arctg} f_{o'r} \quad (3)$$

$$f_{o'r} = \frac{h_1 f_1 + h_2 f_2 + h_3 f_3 + \dots + h_n f_n}{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n} \quad (4)$$

bu yerda $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$ - alohida bir jinsli bo‘lmagan kesishuvchi tog‘ jinslarining qalinligi; $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ - tegishli tog‘ jinslarining qattqlik koeffitsiyenti.

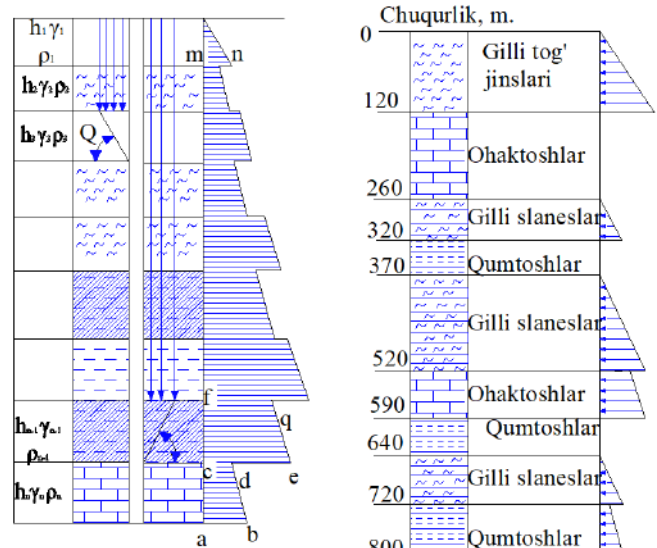
Kesib o‘tiladigan jinslarning o‘rtacha og‘irlikdagi zichligi ham shu yo‘sinda aniqlanadi.

Prof. M.M. Protodyakonovning bir jinsli bo‘lmagan jinslarda o‘tkazilgan vertikal stvolning mustahkamligichiga tog‘ bosimining qiymatini

hisoblash formulasi yuqoridagilarga muvofiq quyidagicha ko‘rinish oladi:

$$P = \rho_{o'r} H tg \frac{90^\circ - \varphi_{o'r}}{2} \quad (5)$$

Prof. P.M. Simbarevichning gipotezasiga ko‘ra, ko‘rib chiqilayotgan uchastkada (alohida, stvol kesib o‘tadigan qatlamda) kon bosimining qiymati quyidagi formulalar bo‘yicha aniqlanadi (1-rasm):



1-rasm. Professor P.M.Simbaryevich usuli bo‘yicha stvol mustahkamligichiga tushadigan bosimni aniqlash sxemasi:

a-kuchlanish epyurasi, b-stvolning qirg‘imi.

Qatlam shiftida

$$P_n = \rho_n \left[h_{n-1} \frac{\rho_{n-1}}{\rho_n} + h_{n-2} \frac{\rho_{n-2}}{\rho_n} + \dots + h_1 \frac{\rho_1}{\rho_n} \right] A_n \quad (6)$$

Qatlam ostida

$$P'_n = \rho_n \left[h_n + h_{n-1} \frac{\rho_{n-1}}{\rho_n} + h_{n-2} \frac{\rho_{n-2}}{\rho_n} + \dots + h_1 \frac{\rho_1}{\rho_n} \right] A_n \quad (7)$$

bu yerda ρ_n, h_n - mos ravishda tog‘ jinsining zichligi va kon bosimi hisoblanadigan qatlamlarning (uchastkaning) qalinligi; $\rho_{n-1}, \rho_2, \rho_1$ - yuqorida joylashgan qatlamlardagi tog‘ jinsining zichligi; h_{n-1}, h_2, h_1 - yuqorida joylashgan tog‘ jinsi qatlamlarining qalinligi; A_n - berilgan jinsning gorizontal yoyilish koeffitsiyenti.

VNIMI (ВНИМИ) tomonidan o‘rtacha turg‘un va noturg‘un tub jinslarda stvol mustahkamligichiga tushadigan bosimni quyidagi formula bo‘yicha aniqlash taklif etilgan:

$$P = nn_y n_H P_H [1 + 0,1(R - 3)] \quad (8)$$

bu yerda R – svetadagi stvolning radiusi, m;
 $R_H = (5 \div 23) \cdot 10 \cdot v^4 \text{ N/m}^2$ - me'yoriy yuklama; n -
 yuklanish koeffitsiyenti; n_y - mustahkamlagichning
 ishlash sharoiti koeffitsiyenti; n_H - yuklamaning
 notekis taqsimlanish koeffitsiyenti. Beton, tyubing
 va blokli mustahkamlagichlar uchun $n=1,5$ va
 $n=0,67$; sochma beton mustahkamlagichlar uchun
 $n=1,25$ va $n=0,5$ qabul qilish tavsiya etiladi.

n_H qiymati stvollarni ketma-ket va parallel
 o'tish sxemalarida 2 dan 2,75 gacha,
 birlashtirilganda esa jinslarning tushish burchagiga
 (0-30°) qarab 1,75 dan 2,25 gacha qabul qilinadi.
 Mustahkamlagichga tog' jinslari bosimidan tusha-
 digan ko'rsatilgan hisobiy nagruzkaga suvlangan
 tog' jinslarida gidrostatik nagruzkaga P_2 qo'shiladi.

Qiya kon lahimining mustahkamlagichiga
 shift tomondan tushadigan kon bosimini (2-rasm)
 ikki tashkil etuvchiga ajratish mumkin:

lahim shifti tekisligiga bir tekisda normal
 tushadigan bosim.

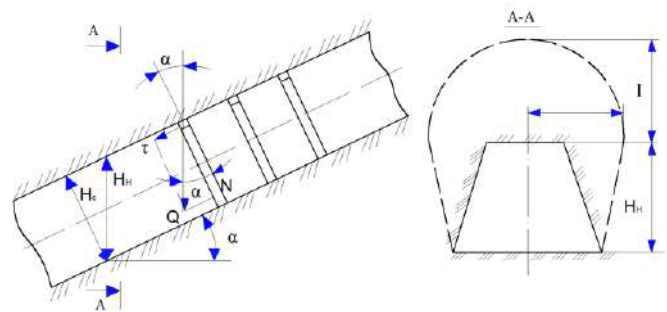
$$N = Q \cos \alpha = \frac{4}{3} \rho \frac{a^2}{f} L \cos \alpha \quad (9)$$

Tangensial yo'nalishdagi bosim

$$T = Q \sin \alpha = \frac{4}{3} \rho \frac{a^2}{f} L \sin \alpha \quad (10)$$

Bu yerda α - lahimning gorizontga nisbatan
 qiyalik burchagi.

Qiya kon lahimi mustahkamlagich o'rna-
 tish, konning geologik sharoitlariga, jinslarning
 mustahkamligiga va qatlamning qiyaligiga qarab
 turli usullar bilan amalga oshiriladi, jumladan,
 gorizonttal yoki vertikal o'rnatiladigan ankerlar,
 qiya devorlari uchun moslashtirilgan mustah-
 kamlovchi materiallar va maxsus armatura
 yordamida amalga oshiriladi.



2-rasm. Qiya kon lahimlaridagi kon bosimini aniqlash sxemasi.

Xulosa. Qiya lahimda mustahkamlagich la-
 himning bo'ylama o'qiga perpendikulyar o'rna-
 tiladi, shuning uchun hisobiy bosim sifatida N kuch
 qabul qilinadi, uning qiymati α burchakning
 kamayishi bilan ortadi. Tangensial tashkil etuvchi T
 ning kuchlari nisbatan kichik bo'lib, u
 mustahkamlagichni panel bo'yicha siljitishga
 intiladi, bunga mustahkamlagich konstruksiyasi
 qarshilik ko'rsatadi.

Q kuchining kattaligi gorizonttal lahimdagi P
 kon bosimini aniqlash kabi aniqlanadi.

Olingan hisoblash va tajriba ma'lumotlari
 massivning geomexanik holatini baholash uchun
 tahlil qilinadi.

Tahlillar asosida mustahkamlagichlarning
 ratsional turlari va konstruksiyalarini tanlash va
 hisoblash bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqiladi hamda
 lahimning turg'unligini ta'minlash uchun kon
 bosimini boshqarish bo'yicha zarur chora-tadbirlar
 belgilanadi. Umumiy ko'rinishda qiya lahimlarda
 bosimni aniqlash sxemasi lahim o'tkazilgandan
 so'ng tog' jinslari massivida kuchlanishlarning
 qayta taqsimlanishini tushunishga va ushlab turish
 vositalarini yetarli darajada tanlashga qaratilgan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Ismailov, A., Israilov, M., Latipov, Z., & Olimov, F. (2024, June). Determination of the optimal location of workings to reduce losses and difference of panels No. 7 and No. 7 of H2A formation at the mining complex of JSC "Dehkanabad Potash Plant". In AIP Conference Proceedings (Vol. 3152, No. 1). AIP Publishing.
- [2] Latipov, Z., Uzoqov, Z., & Bobomurodov, A. (2023). Development of recommendations for chemical fixation of salt waste. Universum: технические науки, (10–7(115)), 9–11.
- [3] Latipovich, K. Y., Yoqubo'g'li, L. Z., Nasritdinovich, T. S., & Shonazarqizi, H. M. (2024). Texnogen chiqindilarni saqlashning oqilona usulini tanlash va atrof-muhitga salbiy ta'sirini kamaytirish. Sanoatda raqamli texnologiyalar / Цифровые технологии в промышленности, 2(1), 181–188.

- [4] Заиров, Ш. Ш., Каримов, Ё. Л., & Латипов, З. Ё. У. (2021). Исследование химического процесса закрепления солевых отходов в горнодобывающем комплексе Дехканабадского завода калийных удобрений. *Проблемы недропользования*, (3(30)), 40–53.
- [5] Каримов, Ё. Л., Латипов, З. Ё. У., Боймуродов, Н. А., & Абдиназаров, У. Б. У. (2022). Анализ исследований процесса разрушения горного массива зарядами взрывчатых веществ с инертными сердечниками. *Oriental Renaissance: Innovative, Educational, Natural and Social Sciences*, 2(12), 207–212.
- [6] Каримов, Ё. Л., Хужакулов, А. М., & Латипов, З. Ё. У. (2020). Гидравлическая закладка выработанного пространства при подземной добыче калийных руд. *Journal of Advances in Engineering Technology*, (1), 25–28.
- [7] Каримов, Ё. Л., Якубов, С. И., Аликулов, Г. Н., & Латипов, З. Ё. (2018). Геодинамические активные зоны Тюбегатанского месторождения калийных солей. *Горный вестник Узбекистана*, (2), 41–44.
- [8] Каримов, Ё. Л., Якубов, С. И., Муродов, Ш. О., Нурхонов, Х., & Латипов, З. Ё. (2018). Экологические аспекты Дехканабадского рудного комплекса по добыче калийных руд. *Горный вестник Узбекистана*, (3), 23–27.
- [9] Латипов, З. Ё. У., Бобомуродов, А. Ё. У., & Хасанов, Ш. Р. У. (2022). Выбор параметров системы разработки при отработке панели №5 на горнодобывающем комплексе Дехканабадского завода калийных удобрений. *Universum: технические науки*, (10–3(103)), 11–13.
- [10] Латипов, З. Ё. У., Каримов, Ё. Л., Шукуров, А. Ю., Худойбердиев, О. Д., & Норкулов, Н. М. У. (2021). Моделирование и установление координат центра масс отвала и хвостов Тюбегатанского калийного месторождения. *Universum: технические науки*, (2–2(83)), 25–28.

UO‘K: 546.98:546.131:544.4

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.36

PLATINA XLORIDLARINING KOMPLEKS HOSIL QILISH XOSSALARI VA OKSIDLANISH BOSQICHLARI



**Usmankulov Orifjon
Naziralievich**

Texnika fanlari falsafa doktori (PhD), O‘zbekiston Respublikasi Tog‘-kon sanoati va geologiya vazirligi bosh mutaxassisi, Toshkent, O‘zbekiston



**Xasanov Abdirashid
Salievich**

*“Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” AJ Innovatsion texnologiyalarni ishlab chiqish va tadbiq etish markazining texnologiya bo‘yicha direktor o‘rinbosari, t.f.d., professor, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: a.xasanov@srt-journal.uz
ORCID ID: 0009-0004-9162-7622*



**Yusupov Ural
Sadullaevich**

Texnika fanlari falsafa doktori (PhD), O‘zbekiston Respublikasi Tog‘-kon sanoati va geologiya vaziri o‘rinbosari, Toshkent, O‘zbekiston



**Eshonkulova Gulmira
Rashidovna**

Milliy tadqiqot texnologik universiteti “MISIS” Olmaliq filiali, Olmaliq, O‘zbekiston

Annotatsiya. Platina hosilalari, xususan uning xloridlari, noorganik kimyoda kataliz, kompleks birikmalar kimyosida kompleks hosil qiluvchi sifatida shuningdek, elektrokimyo va materialshunoslikda ham muhim ahamiyatga ega. Platinaning asosiy oksidlanish darajalari – Pt(0), Pt(II) va Pt(IV) hisoblanib, turli muvozanatlar, ligand almashinuv reaksiyalari va oksidlanish-qaytarilish jarayonlari orqali o‘zaro almashinadi. Ushbu maqolada platina (II) xlorid ($PtCl_2/[PtCl_4]^{2-}$) va platina (IV) xlorid ($PtCl_4/[PtCl_6]^{2-}$) birikmalarining kimyoviy xossalari, hosil qiladigan ayrim kompleks birikmalari hamda platina ionlarining Pt(II) valentli holatidan Pt(IV) valentli holatiga o‘tish bosqichlari yoritilgan.

Kalit so‘zlar: platina katalizi, oksidlanish, xlor gazi, natriy bromati, trans va cis izomerlar, vodorod peroksidi, zarracha taqsimlanishi, oksidlanish-qaytarilish.

СВОЙСТВА КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ И СТАДИИ ОКИСЛЕНИЯ ХЛОРИДОВ ПЛАТИНЫ

**Усманкулов Орифжон
Назиралиевич**

Доктор философии (кандидат наук) в области технических наук, главный специалист Министерства горного дела и геологии Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

**Хасанов Абдирашид
Салиевич**

Заместитель директора по технологиям Центра разработки и внедрения инновационных технологий, АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат», доктор технических наук, профессор, Алмалык, Узбекистан.

**Юсупов Урал
Садуллаевич**

Заместитель министра горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

**Эшонкулова Гульмира
Рашидовна**

Национальный научно-технологический университет «МИСИС», Алмалыкский филиал, Алмалык, Узбекистан

Аннотация. Соединения платины особенно ее хлориды, играют важную роль в катализе в неорганической химии, как комплексообразователи в химии сложных соединений, а также в электрохимии и материаловедении. Основные степени окисления платины – Pt(0), Pt(II) и Pt(IV) – взаимопревращаются посредством различных равновесий, реакций обмена лигандами и окислительно-восстановительных процессов. В данной статье рассматриваются химические свойства соединений хлорида платины(II) ($PtCl_2/[PtCl_4]^{2-}$) и хлорида платины(IV) ($PtCl_4/[PtCl_6]^{2-}$), некоторые образуемые ими комплексные соединения, а также стадии перехода ионов платины

из валентного состояния Pt(II) в валентное состояние Pt(IV).

Ключевые слова: платиновый катализ, окисления, бромат натрия, транс- и цис-изомеры, перекись водорода, распределение частиц, Окисление и восстановление.

COMPLEXATION PROPERTIES AND OXIDATION STAGES OF PLATINUM CHLORIDES

**Usmankulov Orifjon
Naziraliyevich**

Doctor of Philosophy (PhD) in
Technical Sciences, Chief Specialist
of the Ministry of Mining and
Geology of the Republic of
Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

**Khasanov Abdirashid
Salievich**

Deputy Director for Technology of
the Center for Development and
Implementation of Innovative
Technologies, JSC "Almalyk
Mining and Metallurgical
Combine", Doctor of Technical
Sciences, Professor,
Almalyk, Uzbekistan

**Yusupov Ural
Sadullaevich**

Deputy Minister of Mining and
Geology of the Republic of
Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

**Eshonkulova Gulmira
Rashidovna**

National University of Science and
Technology "MISIS", Almalyk
branch, Almalyk, Uzbekistan

Abstract. Platinum compounds, especially its chlorides, play an important role in catalysis in inorganic chemistry, as complex-forming agents in coordination chemistry, as well as in electrochemistry and materials science. The main oxidation states of platinum - Pt(0), Pt(II), and Pt(IV) - interconvert through various equilibria, ligand exchange reactions, and redox processes. This article examines the chemical properties of platinum(II) chloride compounds ($PtCl_2/[PtCl_4]^{2-}$) and platinum(IV) chloride compounds ($PtCl_4/[PtCl_6]^{2-}$), some of the complex compounds they form, as well as the stages of transition of platinum ions from the Pt(II) oxidation state to the Pt(IV) oxidation state.

Keywords: platinum catalysis, oxidation, sodium bromate, trans- and cis-isomers, hydrogen peroxide, particle distribution, oxidation–reduction.

Kirish. Platina guruhi metallari orasida platina o'zining noyob fizik-kimyoviy xossalari, yuqori katalitik faolligi va kimyoviy barqarorligi bilan alohida o'rin tutadi. Ushbu element va uning birikmalari zamonaviy noorganik kimyo, kataliz, elektrokimyo, materialshunoslik hamda gidrometallurgiya sohalarida keng qo'llanilmoqda. Ayniqsa, platina xloridlari va ularning kompleks birikmalari sanoat katalizatorlari, elektrod materiallari hamda qimmatbaho metallarni qayta ishlash texnologiyalarining muhim tarkibiy qismi hisoblanadi.

Platinaning kimyoviy xossalari, asosan, uning bir nechta barqaror oksidlanish darajalarida — Pt(0), Pt(II) va Pt(IV) holatlarida mavjud bo'lishi bilan belgilanadi. Ushbu oksidlanish bosqichlari o'zaro oksidlanish-qaytarilish reaksiyalari, ligand almashinuvi hamda muvozanat jarayonlari orqali bir-biriga o'tishi mumkin. Ayniqsa, platina(II) va platina(IV) xlorid komplekslari kimyoviy reaktivlik, kompleks hosil qilish qobiliyati va kinetik inertligi jihatidan katta ilmiy va amaliy qiziqish uyg'otadi.

Platina(II) xloridli komplekslar odatda kvadrat-planar geometriyaga ega bo'lib, ligand

almashinuv reaksiyalarida nisbatan sust ishtirok etadi, platina(IV) xloridli komplekslar esa oktaedrik tuzilishga ega bo'lib, oksidlovchi xossalari va yuqori koordinatsion soni bilan ajralib turadi. Xlorid muhitida ushbu komplekslarning barqarorligi eritma tarkibi, oksidlovchi reagentlar turi va muhitning kislotaliligiga bevosita bog'liqdir. Shu sababli Pt(II) → Pt(IV) o'tish mexanizmlarini, shuningdek, hosil bo'ladigan oraliq va yakuniy komplekslarni o'rganish fundamental va amaliy jihatdan muhim ahamiyatga ega.

So'nggi yillarda platina xloridlarining natriy bromat, natriy xlorat, vodorod peroksidi va xlor gazi kabi oksidlovchi reagentlar bilan o'zaro ta'siri, shuningdek, cis–trans izomerlarning hosil bo'lishi va zarrachalar taqsimlanishi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar platina kimyosining murakkab va ko'p qirrali ekanligini ko'rsatmoqda. Bundan tashqari, platina va palladiyni selektiv ajratish imkonini beruvchi kompleks hosil qiluvchi reagentlar asosidagi texnologiyalar sanoat miqyosida katta istiqbolga ega.

Mazkur maqolada platina xloridlarining kompleks hosil qilish xossalari, ularning

oksidlanish bosqichlari, Pt (II) va Pt (IV) holatlari o'rtasidagi o'zaro o'tish mexanizmlari hamda amaliy jihatdan muhim bo'lgan ayrim kompleks birikmalarning kimyoviy xususiyatlari tizimli ravishda yoritiladi. Olingan natijalar platina tarkibli eritmalarni qayta ishlash, ajratish va boyitish texnologiyalarini takomillashtirish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Platina (II) xlorid (PtCl₂) va uning ion shakllari odatda 4f¹⁴5d⁸ elektron konfiguratsiyaga ega bo'lib, tinch fazada to'g'ri to'rtburchak (square planar) geometriyani ko'rsatadi. Asosiy xususiyatlaridan biri eruvchanligi past (PtCl₂), ammo [PtCl₄]²⁻ [Pt(H₂O)₂Cl₂] kabi kompleks shakllari yaxshi eruvchan hisoblanadi. Ligand almashinuv reaksiyalari sust, "inert" komplekslarga mansub. Qaytariluvchanlik xususiyati kuchli bo'lib, Pt(II) osonlik bilan Pt(IV) holatigacha oksidlanadi.

Platina (IV) ioni ([PtCl₆]²⁻) 4f¹⁴5d⁶ elektron konfiguratsiyaga ega, oktaedr shaklidagi komplekslar hosil qiladi. Oksidlovchi xususiyatga ega bo'lishi mumkin va ligand almashinuv tezligi Pt(II)ga nisbatan pastroq hamda suvda eruvchanligi yuqori hisoblanadi.

PtCl₄-elementlar sintezi orqali olinadi. 370°C va undan past haroratda barqaror modda hisoblanadi. Gigroskopik jigarrang modda bo'lib, suvda, HCl va atsetonda eriydi. PtCl₄ aktiv metallarning xloridlari bilan ta'sirlashganda tegishli metallarning xloroplatinatlarini hosil qiladi.



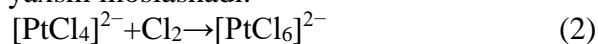
Muhokoma. Turli xil tarkibli platina xloridining juda kichik temperatura oralig'ida mavjud bo'lishi alohida e'tiborni tortadi. Bu platina birikmalarining o'ziga xos xususiyatlaridan biri bo'lib, o'zining asosida kinetik inert yuqori kovalent kimyoviy bog'lanishni aks ettiradi.

Platina (II) xloridining oksidlanish jarayoni odatda xlorid muhitida, ya'ni konsentratsiyalangan HCl yoki Cl⁻ ionlari bo'lgan eritmalarda sodir bo'ladi. PtCl₂ (yoki [PtCl₄]²⁻) dan PtCl₄ (yoki [PtCl₆]²⁻)ga oksidlanish jarayonida bir vaqtning o'zida oksidlovchi modda 2 elektron qabul qiladi. Pt(IV) komplekslari xlorida boy muhitda termodinamik jihatdan barqaror va Cl⁻ konsentratsiyasi oshsa, muvozanat [PtCl₆]²⁻ tomonga siljiydi.

Pt (II) → Pt (IV) oksidlanishni amalga oshi-

radigan asosiy oksidlovchi moddalar quyidagilar hisoblanadi:

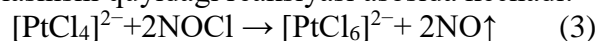
Xlor gazi (Cl₂). Eng keng qo'llaniladigan oksidlovchi modda hisoblanib, xlorid komplekslari bilan yaxshi moslashadi.



Elektron almashinuvda molekular xlor gazi e⁻ qabul qiladi (Cl₂ → 2Cl⁻). Pt(II) markazi elektrofil xlorini qabul qiladi va ligand qo'shilishi orqali oktaedr kompleksini hosil bo'ladi.

Xlor suvi (HCl + Cl₂ → "chlorine water"). Reaksiya mexanizmi Cl₂ bilan bir xil, faqat eritmada tezroq kechadi.

Nitrozil xlorid (NOCl). NOCl kuchli oksidlovchi va xlorlashtiruvchi reagent hisoblanadi. Platina (II) xloridning nitrozil xlorid bilan ta'sirlashishi quyidagi reaksiyasi asosida kechadi:



Vodorod peroksidi (H₂O₂). Eritma harorati 50°C bo'lganda [PtCl₄]²⁻ning NaClO₃ va H₂O₂ bilan oksidlanishining nisbiy tezliklari teng bo'lib, NaBrO₃ bilan oksidlanish tezligi esa sezilarli darajada yuqori ekan. [PtCl₄]²⁻ning H₂O₂ bilan oksidlanishi natijasida mahsulot sifatida *trans* [PtCl₄(OH)₂]²⁻ hosil bo'ladi.

(Natriy xlorat va natriy bromat — NaClO₃ va NaBrO₃). [PtCl₄]²⁻ kompleksining kislotali eritmalarda NaClO₃ va NaBrO₃ bilan oksidlanishi natijasida tarkibi turlicha bo'lgan bir qator akvaxlorid va aralash akvaxlorid-bromid kompleks zarrachalarining hosil bo'lishi kuzatiladi. Jumladan, [PtCl_n(H₂O)_{6-n}]⁴⁻ⁿ (n=2–6) hamda [PtCl_nBr_m(H₂O)_{6-n-m}]^{4-n-m} (n, m = 2–6) tipidagi komplekslar shakllanadi. Shuni alohida ta'kidlash lozimki, hosil bo'lgan mahsulotlar taqsimlanishida eritma tarkibida cis-[PtCl₄(H₂O)₂] kompleksining ustunligi kuzatiladi.

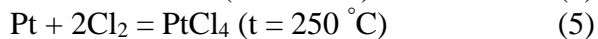
Platina (II) xloridli komplekslar akvatatsiya jarayonida bosqichma-bosqich ligand almashinuvi orqali dastlab [Pt(H₂O)Cl₃]⁻, so'ngra cis-[Pt(H₂O)₂Cl₂]⁰, va keyinchalik asta-sekin trans-[Pt(H₂O)₂Cl₂]⁰ kompleks birikmalarini hosil qiladi. Platina (IV) xloridli komplekslar esa akvatatsiya jarayonida [Pt(H₂O)_nCl_{6-n}]²⁻ (n=1–6) ko'rinishidagi akvaxlorid komplekslarni hosil qilishi mumkin, biroq bu jarayon kinetik jihatdan juda sekin kechadi.

Platinaning Pt (II) va Pt (IV) akvakomplekslari gidroliz jarayonlariga moyil bo'lib, natijada turli xil gidroksokomplekslar hosil

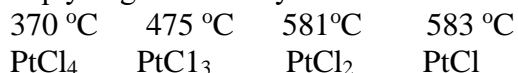
bo'ladi. Ushbu gidroliz jarayonlari davomida gidroksoxlorid $[Pt(OH)_nCl_{6-n}]^{2-}$, gidroksoakvoxlorid $[Pt(H_2O)_m(OH)_nCl_{6-n-m}]^{2-m}$ hamda akvoxlorid $[Pt(H_2O)_nCl_{6-n}]^{2-n}$ tipidagi platinat kompleks birikmalari shakllanadi.

Platina (II) xloridli eritmalariga ammiak ta'sir etsa ligandlar almashinuvi reaksiyasi sodir bo'lib $[Pt(NH_3)_nCl_{4-n}]^{n-2}$ ko'rinishidagi birikmalar hosil bo'ladi. Jarayon boshida ammiak etishmasligi tufayli past xaroratda qiyin eriydigan sariq rangli Peyrona tuzi $[Pt(NH_3)_2Cl_2]$ hosil bo'ladi, eritmada ammiak miqdorining ortishi bilan u rangsiz tetraamin $[Pt(NH_3)_4]^{2+}$ ga aylanadi. Birinchi Reyze asosining xloridi ($[Pt(NH_3)_4]Cl_2$), oq yaxshi eruvchan (100 g sovuq suvda 20 g) kukun bo'lib, qayta kristallanishda ignasimon rangsiz monogidrat kristallarini $[Pt(NH_3)_4]Cl_2 \cdot H_2O$ hosil qiladi. Uni xlorid kislotasi bilan qaynatganda qiyin eruvchan ikkinchi Reyze asosi trans $[Pt(NH_3)_4]Cl_2$ tuzi cho'kadi.

Qizil-qora $PtCl_2$ kristallari Pt_6Cl_{12} oktaedr klaster guruhlaridan iborat. Platina xloridlarini to'g'ridan-to'g'ri sintez qilish orqali olish mumkin:



$PtCl_2$ dixloridini $PtCl_4$ ning dissotsiatsiyasi, shuningdek platina xloridini qizdirish bilan ham olish mumkin. Suvsiz platina xloridlarining genetik aloqasi quyidagi tasvir bo'yicha uzatiladi:

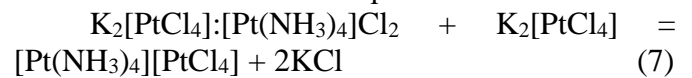


Har xil tarkibdagi platina xloridlari mavjud bo'lgan hududlarni ajratadigan harorat diapazoni juda kichikdir. Bu yuqori kovalent kinetik jihatdan inert kimyoviy bog'lanishga asoslangan platina birikmalarining o'ziga xos xususiyatlaridan biridir. Pt (II) oksidlari va gidroksidlari qora rangga ega va suvda erimaydi. PtO va PtS kislotali muhitda barqarordir. Kationli Pt (II) xloridlaridan amin komplekslarini osongina sintez qilish mumkin.

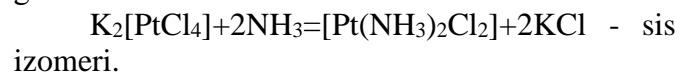


$M_2[PtCl_4]$ (qizil) tuzlari xlorid kislotadagi Pt(II) birikmalarining mos gidroksidi metal tuzlari bilan o'zaro ta'siri natijasida hosil bo'ladi. Ularning eng muhimi suvda eriydigan $K_2[PtCl_4]$ va $Na_2[PtCl_4]$, ular turli platina birikmalarini sintez qilish uchun boshlang'ich materiallar hisoblanadi. Bir vaqtning o'zida Pt(II) kation va anion tarkibida bo'lgan birikmalar, masalan $[Pt(NH_3)_4][PtCl_4]$ ham

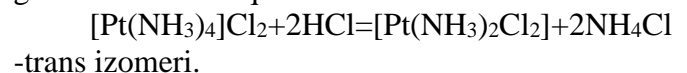
ma'lum. Ushbu birikma (yashil) $[Pt(NH_3)_4]Cl_2$ va eritmalarini aralastirish orqali cho'kadi.



Kation va anion komplekslar bilan bir qatorda $[Pt(NH_3)_2X_2]$ ($P=(NH_3)_2X_2$) neytral Pt (II) komplekslari (bu erda $X=Cl-, Br-, NO_2-$) juda xilma-xildir. Ushbu turdagi birikmalar uchun geometrik (Sis-trans) izomerizm xarakterlidir. Masalan, $[Pt(NH_3)_4]Cl_2$ tarkibi, xususan, rang berish xususiyatlarida farq qiluvchi ikkita birikmaga mos keladi: sis izomeri to'q sariq-sariq, trans izomeri ochiq-sariq. Sis va trans izomerlari har doim suvda, kislotalarda, shuningdek kinetik va termodinamik xususiyatlarda ozgina farqlanib turadi. Trans izomerdan farqli o'laroq, sis izomeri saratonga qarshi fiziologik faollikka ega. Ushbu izomerlarni olishning har xil usullari mavjud. Sis izomeri ikkita xlorid ionlari tetraaxloroplatinat (II) kompleksidagi ammiak molekula-lariga almashganda hosil bo'ladi:



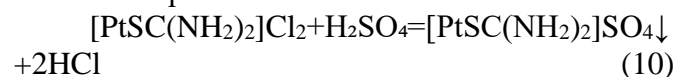
Trans izomer ikkita ammiak molekulasini tetraamin-platina (II) kompleksidagi xlorid ionlariga almashtirish orqali olinadi:

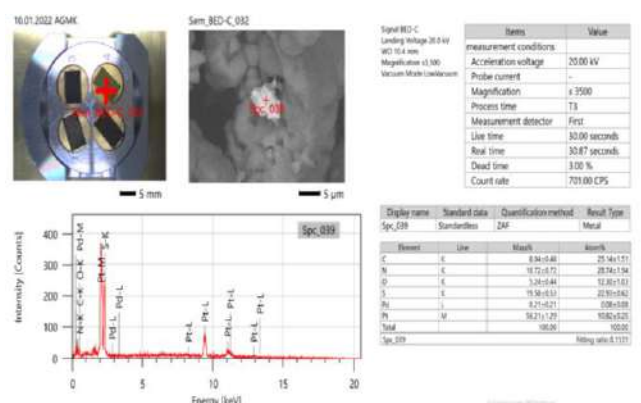


Platinaning yana bir muhim birikmalaridan biri bu platina sulfatining tiomochevinali kompleksidir $[PtSC(NH_2)_2SO_4]$. Xloridli platina va palladiy tarkibli eritmalaridan platinani ushbu kompleks ko'rinishida selektiv cho'ktirish texnologiyasi "Olmaliq KMK" AJ da ishlab chiqilgan. Platina va palladiy ionlarining xossalari o'xshash bo'lsada aynan tiomochevina bilan ta'sirlashishda ushbu ionlarning farqi yuzaga keladi, ya'ni palladiy xloridining tiomochevinali birikmasi cho'kma, platinaning tiomochevinali birikmasi esa eruvchan hisoblanadi.

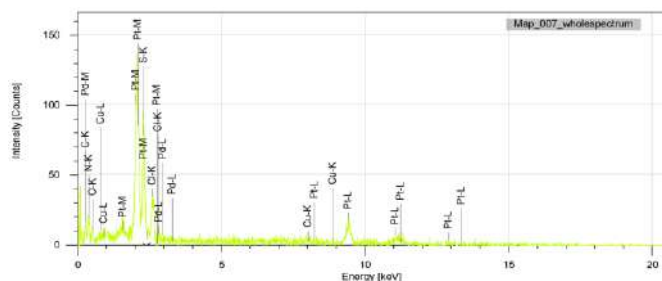


Ishlab chiqilgan texnologiyaning yangi usullaridan biri platina va palladiy tiomochevina yordamida samarali ajratish edi. Palladiy to'liq cho'ktirib olingach eritmaga sulfat kislotasi ta'sir ettiriladi va platina ham cho'ktiriladi:





1-rasm. Platina cho'kmasining 3500 marta kattalashtirilgan tasviri va uning kimyoviy tarkibi tahlili.



2-rasm. Platina tarkibli kompleks cho'kmaning rentgen tahlili.

“Olmaliq KMK” AJ sharoitida o'tkazilgan tajribalar platinaning ushbu kompleksi cho'ktirib olinib, vakuum filtr yordamida filtrlandi va eritma fizik-kimyoviy taxlilga berilgan. Taxlil natijasiga

ko'ra eritma tarkibida platina to'liq cho'kmaga o'tgani aniqlangan. Shundan so'ng olingan platina cho'kmasi $[\text{PtSC}(\text{NH}_2)_2]\text{SO}_4$ suv bilan yaxshilab yuvilgan va yuvilgan cho'kma maxsus tigellarga solinib, elektroplitada quritildi. Quritishdan so'ng cho'kmaning tarkibi o'rganilgan va natijalari 1- va 2-raslarda keltirildi.


Xulosa. Noyob xossalarga ega bo'lganligi sababli platinaning kompleks birikmalari ustida ko'plab ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Platina (II) tetraxlorid kompleksining natriy bromat bilan oksidlanish tezligi natriy xlorat bilan oksidlanish tezligiga nisbatan sezilarli darajada yuqori va vodorod peroksidi bilan oksidlanish tezligiga mos keladi. Kislotali eritmalarda natriy xlorat bilan oksidlanish eritma tarkibida $[\text{PtCl}_n(\text{N}_2\text{O})_{6-n}]^{4-n}$ ($n=2-6$) va $[\text{PtCl}_n\text{Br}_m(\text{N}_2\text{O})_{6-n-m}]^{4-n-m}$ ($n,m=2-6$) turlarining taqsimlanishiga olib keladi. Platina (II) xloridini kislotalarda vodorod peroksidi bilan oksidlash maqsadga muvofiq hisoblanadi. Boshqa turdagi oksidlovchilar masalan natriy bromati va xloratlarining qo'llanilishi eritmada ionlarning ko'payishiga va turli izomerlarning hosil bo'lishiga olib keladi.

Platina xloridining tiomochevinali birikmasi kislotali eritmalarda eruvchan, palladiy xloridining tiomochevinali birikmasi esa noeruvchan kompleks hosil qiladi. Shuningdek platina sulfatining tiomochevinali kompleksi cho'kma xossasiga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Murray, P., & Koch, K. (2010). Pt NMR study of the oxidation of $[\text{PtCl}_4]^{2-}$ with chlorate, bromate and hydrogen peroxide in acidic aqueous solution. *Platinum Metals Review*, 54(4), 205–212. <https://doi.org/10.1080/00958972.2010.493212>
- [2] Bernardis, F. L., Grant, R. A., & Sherrington, D. C. (2005). Title not specified. *Reactive and Functional Polymers*, 65, 205–216.
- [3] Edwards, J. D., Colton, D. F., & Lea, R. K. (1982). European patent application EP0049567 A1. INCO Ltd., Canada.
- [4] Livingstone, S. E., & Plowman, R. A. (1951). Title not specified. *Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales*, 84, 107–113.

UO‘K: 622.765:669.21

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.42

“NKMK” AJ “AUMINZO-AMANTOY” KONI OLTIN AJRATISH SEXI TEXNOGEN CHIQINDILARINI TADQIQ QILISH



**Xo'jaqulov Nurmurod
Botirovich**

Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti, Navoiy,
O'zbekiston
ORCID ID: 0009-0006-4489-1812



**Ro'ziyev Ulug'bek
Mamarasulovich**

Qarshi davlat texnika universiteti,
Qarshi, O'zbekiston
ORCID ID: 0009-0001-9533-3603



Ibotov Bobur Odil o'g'li

Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti, Navoiy,
O'zbekiston

Annotatsiya. Mazkur ilmiy ish “NKMK” AJ “Auminzo-Amantoy” koni oltin ajratish sexi texnogen chiqindilarini o'rganish hamda ulardan oltinni ajratib olish texnologiyasini takomillashtirishga bag'ishlangan. Tadqiqotlar jarayonida namunalar kimyoviy va mineralogik jihatdan tahlil qilindi, ularning tarkibida kvarts, dala shpati, glina-slyuda va sulfat birikmalari mavjudligi aniqlandi. Sorbsiya-sianlash va flotatsiya-ku'ydirish-sorbsiya usullari asosida o'tkazilgan tajribalar natijasida oltin ajralish darajasi optimal texnologik sharoitlarda 79 % gacha yetgani qayd etildi. Ushbu natijalar chiqindilarni qayta ishlash orqali qimmatbaho metallarning iqtisodiy jihatdan foydali hajmda qayta olinishi, ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va ekologik yuklamani kamaytirish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: Auminzo-Amantoy koni, texnogen chiqindi, sorbsiya-sianlash, flotatsiya, oltin ajratish, kuydirish.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ЗОЛОТОИЗВЛЕКАТЕЛЬНОГО ЦЕХА РУДНИКА «АУМИНЗО- АМАНТОЙ» АО «НГМК»

**Ходжакулов Нурмурад
Ботирович**

Навоийский государственный
горно-технологический
университет, Навои, Узбекистан

**Рузиев Улугбек
Мамарасулович**

Каршинский государственный
технический университет,
Карши, Узбекистан

**Иботов Бобур Одил
угли**

Навоийский государственный
горно-технологический
университет, Навои, Узбекистан

Аннотация. Данная научная работа посвящена исследованию техногенных отходов золотоизвлекательного цеха рудника «Ауминзо-Амантой» АО «НГМК» и совершенствованию технологии извлечения золота из них. В процессе исследований проведены химический и минералогический анализы проб, установлено присутствие кварца, полевого шпата, глинисто-слюдистых минералов и сульфатных соединений. По результатам экспериментов с применением методов сорбционно-цианирования и флотационно-обжиговой сорбции степень извлечения золота достигла 79 % при оптимальных технологических условиях. Полученные результаты подтверждают возможность экономически эффективно извлечения благородных металлов из техногенных отходов с одновременным повышением производственной эффективности и снижением экологической нагрузки.

Ключевые слова: рудник Ауминзо-Амантой, техногенные отходы, сорбционно-цианирование, флотация, извлечение золота, обжиг.

INVESTIGATION OF TECHNOGENIC WASTES FROM THE GOLD EXTRACTION PLANT OF THE “AUMINZO-AMANTOY” MINE, NMMC JSC

*Khojakulov Nurmurad
Botirovich*

*Navoi State Mining and Technology
University, Navoi, Uzbekistan*

*Ruziyev Ulugbek
Mamarasulovich*

*Karshi State Technical University,
Karshi, Uzbekistan*

Ibotov Bobur Odil ugli

*Navoi State Mining and Technology
University, Navoi, Uzbekistan*

Abstract. *This study focuses on investigating the technogenic wastes of the gold extraction plant at the “Auminzo-Amantoy” mine of NMMC JSC and improving the technology for gold recovery from these materials. Chemical and mineralogical analyses revealed that the samples mainly consist of quartz, feldspar, clay–mica minerals, and sulfate compounds. Experimental studies using sorption-cyanidation and flotation-roasting-sorption methods showed that the gold recovery rate reached up to 79% under optimal technological conditions. The obtained results confirm that the combined processing of technogenic wastes can ensure the economically efficient recovery of valuable metals while reducing environmental impacts and increasing production efficiency.*

Keywords: *Auminzo-Amantoy mine, technogenic waste, sorption-cyanidation, flotation, gold recovery, roasting.*

Kirish. “Navoiy kon-metallurgiya kombinati” aksiyadorlik jamiyati (NKMK AJ) O‘zbekiston Respublikasida oltin qazib olish va uni qayta ishlash bo‘yicha yetakchi sanoat majmuasi hisoblanadi. Kombinat faoliyati geologik qidiruv, ruda qazib olish, boyitish va metall ajratib olish jarayonlarini o‘z ichiga olgan to‘liq ishlab chiqarish zanjiriga ega bo‘lib, u nafaqat mamlakat, balki butun Markaziy Osiyo mintaqasida strategik ahamiyatga ega sanoat korxonasidir.

NKMK tarkibidagi “Auminzo-Amantoy” koni kombinatsiyaning muhim oltin ishlab chiqaruvchi ob‘ektlaridan biri hisoblanadi. Bu kon hududida yiliga millionlab tonna oltinli ruda qazib olinib, gidrometallurgik usullar yordamida qayta ishlanadi. Rudalar tarkibida oltindan tashqari boshqa rangli va nodir metallar ham mavjud bo‘lib, ularni ajratib olish uchun kompleks texnologik jarayonlar qo‘llaniladi.

Oltin ajratish sexlari faoliyati davomida katta hajmdagi texnogen chiqindilar hosil bo‘ladi. Ushbu chiqindilar tarkibida qimmatbaho metallarning ma‘lum qismi saqlanib qoladi. Ularni qayta ishlash nafaqat iqtisodiy foyda keltiradi, balki ekologik xavflarni ham sezilarli darajada kamaytiradi. Shu sababli texnogen chiqindilarni tahlil qilish, ularning mineralogik va kimyoviy tarkibini aniqlash hamda ulardan qo‘shimcha metall ajratib olish imkoniyatlarini o‘rganish dolzarb ilmiy masala hisoblanadi.

Mazkur tadqiqot “Auminzo-Amantoy” koni oltin ajratish sexi chiqindilari tarkibini o‘rganish hamda chiqindi xo‘jaligidan oltin ajratib olish imkoniyatlarini aniqlashga qaratilgan. Bunday izlanishlar ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, tabiiy resurslardan oqilona foydalanish va ekologik barqarorlikni ta‘minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Tadqiqot metodologiyasi. Ushbu tadqiqot “Auminzo-Amantoy” konining oltin ajratish sexida hosil bo‘ladigan texnogen chiqindilarni qayta ishlash imkoniyatlarini aniqlashga qaratilgan bo‘lib, ishlar asosan sorbsiya-sianlash va flotatsiya-kuydirish-sorbsiya texnologik yo‘nalishlari asosida olib borildi. Tadqiqotda texnogen chiqindilardan oltinni ajratib olishning eng maqbul usullarini aniqlash, ularning kimyoviy-mineralogik xususiyatlarini o‘rganish hamda optimal texnologik parametrlarni belgilash maqsad qilingan.

Tadqiqot uchun olingan namunalar “Auminzo-Amantoy” koni oltin ajratish sexining chiqindi xo‘jaligidan tanlab olindi. Namunalarning tarkibi oltin ajratish jarayonidan keyingi qoldiqlardan iborat bo‘lib, ular laboratoriya sharoitida quritish, maydalash va elash orqali tahlilga tayyor holatga keltirildi. Shundan so‘ng ular kimyoviy, mineralogik, granulometrik va ratsional tarkibini aniqlash uchun tayyorlandi.

Daslab namunalar kimyoviy va mineralogik tahlillarga tortildi 1-2-jadval. Namunalarning ele-

ment tarkibi atom-absorbtsion spektrometriya va rentgenofazali tahlil usullari yordamida o'rganildi. Ushbu tahlillar orqali oltin, kumush, mis, temir, oltingugurt, kremniy oksidi va alyuminiy oksidi kabi asosiy elementlar miqdori aniqlanib, ularning mineral shakllari hamda zarrachalar o'lchamiga qarab taqsimlanish xususiyatlari belgilandi. Granulometrik tahlil yordamida oltinning zarra o'lchamlariga bog'liq holda taqsimlanishi o'rganildi.

1-jadval

Namunaning kimyoviy tahlili

Tarkibi							
Au, g/t	S _{um}	S _s	C	Fe _{um}	CO ₂	As	Sb
1.98	2.2	0.31	0.32	4.1	0.76	0.061	0.009

2-jadval

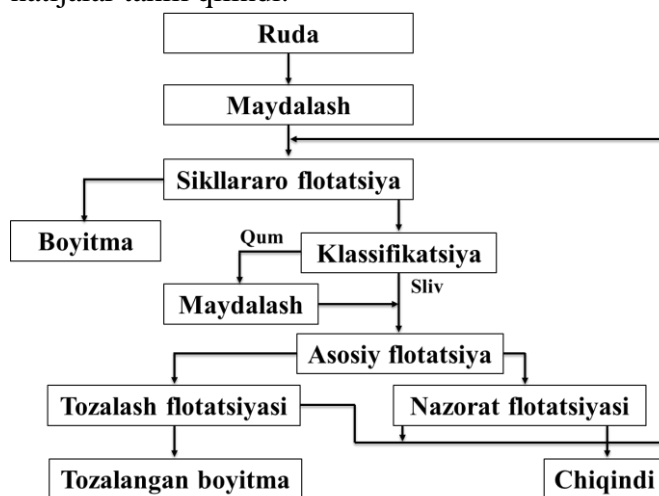
Namunaning mineralogik tarkibi

Tarkibi %							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
57.6	13.8	0.61	4.2	1.4	0.9	2.7	0.02

Ushbu namunaning mineralogik tarkibi tahlil qilinganda, uning asosan kvarts, dala shpati, glina-slyuda guruhiga mansub minerallar hamda turli sulfat birikmalaridan tashkil topgani aniqlandi. Rentgenofazali tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, namunada kremniy oksidining SiO₂ ulushi yuqori bo'lib, u asosan kvarts mineralining asosiy fazasini tashkil etadi. Dala shpati komponentlari alyuminiy va kaliy oksidlari bilan bog'langan bo'lib, ularning mavjudligi rudadagi silikat strukturalarning ustunligini ko'rsatadi. Glina-slyuda guruhiga kiruvchi minerallar kaolinit, montmorillonit, muskovit tarkibida alyumosilikat fazalar mavjud bo'lib, ular rudaning dispers tuzilmasini belgilaydi. Shuningdek, namunada aniqlangan sulfatlar asosan gipss va jarosit shaklida oltinning ion holatda bog'lanishiga va sianlash jarayonida uning ajralish darajasiga ma'lum darajada ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shu tariqa, tahlil natijalari namunada kremniyli va alyumosilikatli minerallarning ustunligi bilan bir qatorda, ikkilamchi sulfat fazalarining mavjudligini ham tasdiqlaydi, bu esa chiqindining qayta ishlanish jarayonida fizik-kimyoviy faollikni belgilovchi muhim omil hisoblanadi.

Shundan so'ng flotatsiya-kuydirish usuli asosida kompleks tadqiqotlar o'tkazildi. Dastlab flotatsiya jarayoni amalga oshirilib, oltin va unga hamroh minerallarni boyitilgan flotokontsentr

shaklida ajratish maqsad qilingan. Flotatsiya jarayonida kollektorlar, pufak hosil qiluvchilar va pH stabilizatorlarining ta'siri baholandi. Olingan flotokontsentr 400–700 °C oralig'idagi haroratda kuydirildi, natijada sulfidli minerallar oksidlanib, oltinning ochilishi ta'minlandi. Kuydirishdan so'ng hosil bo'lgan mahsulot kislova yordamida qayta ishlanib, oltinning eruvchan shakllarga o'tishi ta'minlandi. Kuydirishdan olingan keks mahsuloti keyinchalik sorbsiya-sianlash usuli bilan ishlanib, oltin ajralish darajasi yana bir bor aniqlanib, natijalar tahlil qilindi.



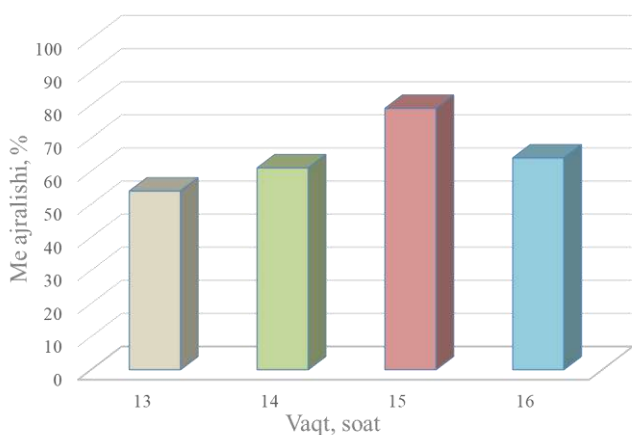
1-rasm. Auminzo-Amantoy koni oltinni flotatsiya usulida boyitish sxemasi.

Keyingi bosqichda sorbsiya-sianlash usuli qo'llanilib, oltinning eritmaga o'tish darajasi baholandi. Bu jarayonda natriy sianid (NaCN) eritmasi ishlatildi, ishchi muhitning pH darajasi 10,5–11,0 oralig'ida saqlandi. Oltinning sorbsiyasi faol uglerod (AK-6 markali) yordamida amalga oshirildi. NaCN konsentratsiyasi, harorat va ishlov berish vaqtining oltin ajralish darajasiga ta'siri o'rganildi. Ushbu tajribalar natijasida texnogen chiqindilardan to'g'ridan-to'g'ri sorbsiya-sianlash usuli orqali oltinni ajratishning samaradorligi aniqlab olindi.

Tadqiqot davomida ishlov berish vaqti, NaCN konsentratsiyasi, muhitning pH darajasi, harorat, sorbent sarfi kabi texnologik parametrlarning oltin ajralish jarayoniga ta'siri o'rganildi. Har bir usul uchun optimal ish rejimlari ishlab chiqilib, ularning iqtisodiy hamda texnologik samaradorligi solishtirildi. Olingan natijalar asosida texnogen chiqindilarni qayta ishlash uchun eng maqbul

texnologik yoʻnalish aniqlanib, uni sanoat sharoitida qoʻllash imkoniyatlari baholandi.

Natija va muhokama. Oʻtkazilgan tadqiqotlar natijasida “Auminzo-Amantoy” koni oltin ajratish sexi texnogen chiqindilarida oltin miqdori past konsentratsiyada boʻlishiga qaramay, ularni qayta ishlash orqali iqtisodiy jihatdan foydali mahsulot olish imkoniyati mavjudligi aniqlandi. Namunaning kimyoviy va mineralogik tarkibini oʻrganish jarayonida asosiy komponentlar kvarts, dala shpati, glina-slyuda minerallari hamda sulfat birikmalari ekanligi belgilandi. Bu esa chiqindining fizik-kimyoviy faolligini oshiruvchi va oltinning sianlash jarayonida eritmaga oʻtishiga bevosita taʼsir etuvchi omillar sifatida baholandi.



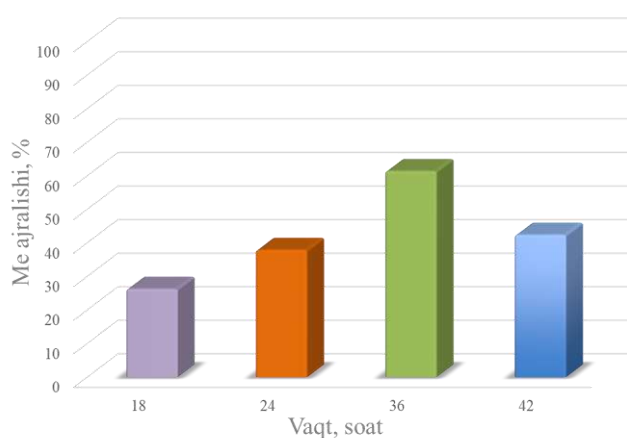
2-rasm. Oltinni sianlash jarayonida ajralish darajasining vaqt boʻyicha oʻzgarishi.

Flotatsiya-kuydirish-sorbsiya-sianlash jarayonlari ketma-ket amalga oshirilganda oltinning ajralish darajasi sezilarli darajada oshgani kuzatildi. Flotatsiya bosqichida oltin va unga hamroh minerallarni ajratish natijasida boyitilgan flotokonsentrat olindi. Bu mahsulot 400–700 °C oraligʻida kuydirilgach, sulfidli fazalarning oksidlanishi hisobiga oltinning ochilishi taʼminlandi. Kuydirishdan soʻng kislota yordamida qayta ishlangan namunalarda oltinning eruvchan shaklga oʻtish darajasi yuqori boʻlib, bu keyingi sorbsiya-sianlash bosqichida metallning samarali ajralishiga zamin yaratdi.

Sorbsiya-sianlash jarayonida oʻtkazilgan tajribalar shuni koʻrsatdiki, natriy sianid eritmasining konsentratsiyasi oshirilishi bilan oltinning eritmaga oʻtish darajasi ortadi. Optimal texnologik sharoitlarda (NaCN konsentratsiyasi 11800 mg/l,

pH 9,6–10,7, vaqt 15 soat) metall ajralish darajasi 79 % gacha yetdi. Bu koʻrsatkich, chiqindilarni toʻgʻridan-toʻgʻri qayta ishlashda yuqori darajada metall qayta tiklanishini taʼminlash imkonini beradi.

Flotatsiya jarayonidan olingan chiqindilarni sorbsiya-sianlash yoʻli bilan qayta ishlash natijalari ham ijobiy boʻlib, oltinning ajralish darajasi 18–42 soat oraligʻida oʻsish tendensiyasini koʻrsatdi. 36 soatda eng yuqori — 68–70 % gacha boʻlgan metall ajralish darajasi qayd etildi, bu esa jarayon davomiyligi ortgan sari metallning ion holatiga oʻtish intensivligi oshishini bildiradi.



3-rasm. Flotatsiya jarayonidan olingan chiqindining sorbsiya-sianlash jarayonida metall ajralish darajasining vaqt boʻyicha oʻzgarishi.

Umuman olganda, olingan natijalar “Auminzo-Amantoy” koni chiqindilarini qayta ishlashda sorbsiya-sianlash va flotatsiya-kuydirish-sorbsiya kompleks yondashuvining samaradorligini tasdiqladi. Bu texnologik yechim chiqindilarni qayta ishlash orqali qimmatbaho metallarning qayta olinishi bilan bir qatorda ekologik yuklamani kamaytirish va ishlab chiqarish samaradorligini oshirish imkonini beradi. Shu sababli mazkur texnologiya amaliyotda qoʻllash uchun istiqbolli hisoblanadi.

Xulosa. Oʻtkazilgan ilmiy tadqiqotlar natijasida “Auminzo-Amantoy” koni oltin ajratish sexi texnogen chiqindilarida oltinning past konsentratsiyada boʻlishiga qaramay, ularni qayta ishlash orqali iqtisodiy jihatdan foydali natijalarga erishish mumkinligi isbotlandi. Namunaning kimyoviy va mineralogik tahlili natijasida chiqindilar tarkibida asosan kvarts, dala shpati, glina-slyuda tipidagi

alyumosilikat minerallari va sulfat birikmalari mavjudligi aniqlandi, bu esa oltinning sianlash jarayonida eritmaga o'tish jarayoniga bevosita ta'sir etuvchi omil sifatida qayd etildi.

Sorbsiya-sianlash usuli bo'yicha o'tkazilgan tajribalar oltin ajralish darajasi NaCN konsentratsiyasi, pH muhitining barqarorligi va ishlov berish vaqtiga sezilarli darajada bog'liqligini ko'rsatdi. Optimal texnologik sharoitlarda (NaCN 11800 mg/l, pH 9,6–10,7, vaqt 15 soat) metall ajralish darajasi 79 % gacha yetdi. Flotatsiya-ku'ydirish-sorbsiya-sianlash ketma-ket jarayoni qo'llanganda, metallning qayta tiklanish darajasi yanada ortib, 68–70 % gacha samarali ajralish ta'minlandi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, "Auminzo-Amantoy" koni chiqindilarini qayta

ishlashda sorbsiya-sianlash hamda flotatsiya-ku'ydirish yo'nalishlarining kombinatsiyasi texnogen chiqindilardan qimmatbaho metallarning qayta ajralishini ta'minlash uchun eng maqbul texnologik yechimlardan biridir. Ushbu yondashuv ekologik xavfsizlikni ta'minlash, chiqindisiz ishlab chiqarish konsepsiyasini joriy etish hamda metallurgiya sanoatining iqtisodiy samaradorligini oshirishda muhim amaliy ahamiyatga ega.

Natijada, mazkur texnologiyani ishlab chiqarish sharoitida qo'llash "NKMK" AJ uchun qo'shimcha iqtisodiy foyda bilan bir qatorda atrof-muhitga ta'sirni kamaytirish imkonini beradi. Shu bois, olingan ilmiy natijalar texnogen chiqindilardan oltinni ajratib olish texnologiyasini takomillashtirish bo'yicha keyingi amaliy izlanishlar uchun ilmiy asos yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Xujakulov, N. B., Samadov, A. U., Nasirova, N. R., & Xolmurodov, F. F. (2024). Oltin ajratib olish zavodlarining chiqindilarini qayta ishlash. *Journal of Advances in Engineering Technology*, 4(16), 42–46.
- [2] Karppinen, A., Seisko, S., Nevatalo, L., Wilson, B. P., & Yliniemi, K. (2024). Gold recovery from cyanidation residue by chloride leaching and carbon adsorption: Preliminary results from CICL process. *Hydrometallurgy*. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2024.xxxxxx>
- [3] Fu, P., Li, Z., Feng, J., & Bian, Z. (2018). Recovery of gold and iron from cyanide tailings with a combined direct reduction roasting and leaching process. *Metals*, 8(7), 561. <https://doi.org/10.3390/met8070561>
- [4] Uzoqov, S. (2024). Texnogen chiqindilar tarkibidan oltin ajratib olish imkoniyatlari. *ARIMS Journal*.
- [5] Huang, Z., & Yang, T. (2022). Gold recovery from cyanidation tailings using flotation process. *Archives of Metallurgy and Materials*, 67(1), 37–43. <https://doi.org/10.24425/amm.2022.137494>
- [6] Zhang, L., Wang, J., & Chen, Q. (2023). Sustainable processing of gold cyanide tailings: Reduction roasting and environmental implications. *Hydrometallurgy*. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2023.xxxxxx>
- [7] Li, H., Yin, S., Zhang, Y., & Gao, J. (2018). Investigation on the recovery of gold and silver from cyanide tailings using chlorination roasting process. *Journal of Alloys and Compounds*, 763, 241–249. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.05.262>
- [8] Sirojov, T. T. (2024). Oltin va mis tarkibli rudalarni kompleks qayta ishlashda sianli tanlab eritish samaradorligi. *SRT Journal*.
- [9] Mirzayev, B. A., & Xujakulov, N. B. (2023). Vaush koni dolomit rudasining kimyoviy tarkibini va termik parchalanishini tadqiq etish. *Journal of Advances in Engineering Technology (JAET)*.
- [10] Rahimov, F. A., & Ismoilov, A. S. (2023). Flotatsiya jarayonida chiqindilarni qayta ishlashning ilmiy asoslari. *Mining Science and Technology*, 5(2), 115–121.
- [11] Khojakulov, A., Ruziyev, U., Boymurodov, N., Shernazarov, I., Mashaev, E., & Shoyimova, K. (2024). Research and determination of parameters for extracting valuable components from technological waste. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 149, Article 01049). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202414901049>

GEOLOGIYA VA NEFT-GAZ SANOATI

ГЕОЛОГИЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

GEOLOGY AND OIL-GAS INDUSTRY

UO‘K: 669.14:621.791:669.018

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.13

KARBONLI PO‘LATLARDA YUQORI HARORATLI VODOROD TA’SIRI
(HTHA), MIKROSTRUKTURAVIY DEGRADATSIYA, ZARAR YETKAZISH
MEKANIZMI VA TEXNOLOGIK OLDINI OLISH USULLARI



Azimov Salohiddin Turamuradovich
“O‘zbekiston GTL” MChJ nazoratchi muhandisi, t.f.f.d.,
Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: salokhiddin.azimov1989@gmail.com
ORCID ID: 0009-0007-9122-8463



Raximov G‘anisher Baxtiyorovich
Qarshi davlat texnika universiteti, dotsenti, t.f.f.d., Qarshi,
O‘zbekiston
E-mail: ganisher.raximov1@inbox.ru
ORCID ID: 0009-0004-1970-1541

Annotatsiya. Yuqori haroratli vodorod ta’siri (HTHA – High-Temperature Hydrogen Attack) neft-gaz, kimyo va energetika sanoatlarida keng qo‘llaniladigan uglerodli va past qotishmali po‘latlarning xizmat muddatini sezilarli darajada qisqartiruvchi xavfli degradatsiya jarayonidir. Ushbu maqolada HTHA mexanizmi, unga moyil materiallar va ularning mikrostrukturaviy o‘zgarishlari, payvand choklarida va issiqlik ta’sir zonalarida yuzaga kelish holatlari batafsil tahlil qilinadi. Tadqiqotda ASME RP 941, API RP 571 va boshqa xalqaro standartlar asosida xavfsiz ishlash chegaralari, material tanlash strategiyalari hamda zamonaviy no-destruktiv sinov (NDE) usullarining samaradorligi o‘rganildi. Shuningdek, HTHA xavfini kamaytirish uchun qotishma elementlari bilan boyitilgan po‘latlardan foydalanish, payvanddan keyingi issiqlik ishlovi (PWHT) qo‘llash va qoplama texnologiyalarining metallurgik mosligi tahlil qilindi. Olingan natijalar asosida sanoat korxonalarida HTHAni erta aniqlash va oldini olish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqildi.

Kalit so‘zlar: HTHA, vodorod, yuqori harorat, karbonli po‘lat, payvandlash, mikrostrukturaviy degradatsiya, metallurgik nomutanosiblik, RP 941.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ВОДОРОДНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ (HTHA)
НА УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ, МИКРОСТРУКТУРНАЯ ДЕГРАДАЦИЯ,
МЕХАНИЗМ ПОВРЕЖДЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

Азимов Салохиддин Турамурадович
Ведущий инженер ООО «Uzbekistan GTL», доктор
философских наук, г. Қариш, Узбекистан

Рахимов Ганишер Бахтиёрлович
Қаришинский государственный технический университет,
доцент, доктор философских наук, Қариш, Узбекистан

Аннотация. *Высокотемпературное воздействие водорода (HTHA – High-Temperature Hydrogen Attack) является опасным процессом деградации, значительно сокращающим срок службы углеродистых и низколегированных сталей, широко применяемых в нефтегазовой, химической и энергетической промышленности. В статье подробно рассмотрены механизм HTHA, материалы, подверженные данному явлению, микроструктурные изменения, а также случаи возникновения в сварных швах и зонах термического влияния. На основе международных стандартов ASME RP 941, API RP 571 и других изучены безопасные условия эксплуатации, стратегии выбора материалов и эффективность современных методов неразрушающего контроля (NDE). Проведен анализ влияния легирующих элементов, применения термообработки после сварки (PWHT) и технологии нанесения покрытий на металлургическую совместимость. Полученные результаты позволили сформулировать практические рекомендации по раннему выявлению и предотвращению HTHA на промышленных объектах.*

Ключевые слова: *HTHA, водород, высокая температура, углеродистая сталь, сварка, микроструктурная деградация, металлургическая несовместимость, RP 941.*

HIGH-TEMPERATURE HYDROGEN ATTACK (HTHA) IN CARBON STEELS, MICROSTRUCTURAL DEGRADATION, DAMAGE MECHANISM, AND TECHNOLOGICAL PREVENTION METHODS

Azimov Salohiddin Turamuradovich

Leading Engineer of Uzbekistan GTL LLC, Doctor of Philosophy, Karshi, Uzbekistan

Rakhimov Ganisher Bakhtiyorovich

Karshi State Technical University, Associate Professor, Doctor of Philosophy, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *High-Temperature Hydrogen Attack (HTHA) is a critical degradation phenomenon that significantly reduces the service life of carbon and low-alloy steels widely used in the oil and gas, chemical, and power industries. This paper provides a comprehensive analysis of the HTHA mechanism, susceptible materials, microstructural changes, and its occurrence in welds and heat-affected zones. Based on international standards such as ASME RP 941, API RP 571, and others, safe operating limits, material selection strategies, and the effectiveness of modern non-destructive examination (NDE) methods are discussed. The study also examines the role of alloying elements, the application of post-weld heat treatment (PWHT), and cladding technologies in improving metallurgical compatibility. The findings have been used to develop practical recommendations for early detection and prevention of HTHA in industrial equipment.*

Keywords: *HTHA, hydrogen, high temperature, carbon steel, welding, microstructural degradation, metallurgical incompatibility, RP 941.*

Kirish. Yuqori haroratli vodorod ta'siri (HTHA — High-Temperature Hydrogen Attack) — bu po'lat materiallarning yuqori harorat va bosim ostida vodorod gaziga duchor bo'lishi natijasida yuzaga keladigan zararli jarayondir. Ushbu sharoitda dissotsiatsiyalangan vodorod atomlari po'latdagi uglerod va karbidlar bilan kimyoviy reaksiyaga kirishib, metan (CH₄) hosil qiladi.

Vodorod va uglerod o'rtasidagi bu reaksiyaning natijalaridan biri — po'lat sirtining uglerodsizlanishi (dekarburizatsiyasi) bo'lishi mumkin. Sirt dekarburizatsiyasi, odatda, uskuna-ning xizmat muddatini cheklaydigan darajada

zararli hisoblanmaydi, biroq bu holat ichki HTHA jarayonining mavjudligidan darak berishi mumkin. Keng ko'lamdagi dekarburizatsiya esa komponentning mustahkamligini sezilarli darajada pasaytiradi.

Agar uglerodning yuzaga qarab diffuziyasi cheklangan bo'lsa, u holda ichki dekarburizatsiya natijasida po'latning o'zida CH₄ hosil bo'ladi. CH₄ molekulalari po'lat orqali diffuziyalana olmaydi, shu sababli ichki bosim ortib boradi. Bu esa dastlab pufakchalar yoki bo'shliqlar, keyinchalik mikro-yoriqlar, nihoyat esa yoriqlar hosil bo'lishiga olib keladi. Ushbu ichki zararlar va yoriqlarning

rivojlanishi HTHAning eng xavfli natijasi hisoblanadi va uskunaning ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin.

Bunday yoriqlar bosimni ushlab turuvchi elementlarning yuk (bosim) ko'tarish qobiliyatini pasaytiradi va bu holat uskuna ishdan chiqishiga sabab bo'ladi.

Blisterlash (po'lat yuzasida shishish) holatlari ham kuzatilishi mumkin. Bu holat qayta birlashgan vodorod atomlaridan hosil bo'lgan molekulyar vodorod yoki CH₄ gazining po'latdagi laminatsiyalar yoki boshqa qulay joylarda to'planishi natijasida yuzaga keladi.

Dekarbonizatsiya: Qozon quvurlarida HTHAning bir ko'rinishi yuzaga kelishi mumkin bo'lib, u issiqlik elektr stansiyalari sanoatida vodorodli shikastlanish (hydrogen damage) deb ataladi.

Bu holatda uglerodning metal yuzasidan yoki ichki qatlamlaridan chiqib ketishi natijasida po'latning mexanik xossalari yomonlashadi, bu esa quvurlar yoki uskunalarining ishdan chiqish xavfini oshiradi.

Tadqiqot metodikasi va materiallar. Po'latdagi qotishma elementlari (xususan xrom – Cr va molibden – Mo) miqdori oshgani sayin, materialning yuqori haroratli vodorod ta'siriga (HTHA) chidamliligi oshadi. Muayyan material uchun HTHAga duchor bo'lish ehtimoli harorat, vodorodning qisman bosimi, ta'sir muddati va stress (yuklanish) darajasiga bog'liq.

Uglerodli va past qotishmali po'latlar uchun harorat va vodorodning qisman bosimi o'rtasidagi xavfsiz ishlash chegaralarini ko'rsatadigan grafiga egri chiziqlar to'plami (1-rasm). Ma'lum bir material uchun egri chiziqdan pastda joylashgan harorat va H₂ bosimida ishlash xavfsiz deb hisoblanadi. Aksincha, egri chiziqdan yuqori sharoitlarda ishlash esa HTHA xavfini bildiradi.

HTHAdan zarar ko'rishdan oldin, hech qanday fizik yoki mexanik xossalardagi o'zgarishlar kuzatilmaydigan, shuningdek, mavjud bo'lgan NDE (no-destructive examination – buzilmasdan sinov) usullari bilan ham ichki shikastlanish aniqlanmaydigan vaqt oralig'i mavjud. Bu vaqt "inkubatsiya davri" deb ataladi.

Inkubatsiya davri davomida material ichida bo'shliqlar va mikroyoriqlar asta-sekin hosil bo'lib, ularning o'sishi inspeksiya usullari orqali

aniqlanishi va o'lchanishi mumkin bo'lgan darajaga yetadi. Bu davr juda og'ir ish sharoitida bir necha soatni tashkil qilishi mumkin bo'lsa, yengil sharoitlarda esa yillar davom etishi mumkin.

HTHAdan kelib chiqadigan shikastlanish qaytarilmaydi (irreversibel) va xizmat davomiyligi mobaynida to'planib boradi. Inkubatsiya davridan so'ng, material zararli harorat va H₂ bosimi sharoitida qolgan har bir lahza davomida, u uzluksiz yoki davriy bo'lishidan qat'i nazar, shikastlanish chuqurlashishda davom etadi.

Tashqi yoki qoldiq cho'zuvchi stresslar (ya'ni tortuvchi kuchlanishlar) HTHA ta'sirining kuchayishiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun uglerodli po'lat payvand chokklarini PWHT (issiqlik bilan ishlov) orqali stressdan xalos qilish — HTHAga chidamlilikni oshirishda samarali chora hisoblanadi.

Yuqoridan pastga qarab qarshilik darajasi ortib borish tartibida quyidagi materiallar yuqori haroratli vodorod ta'siriga (HTHA) nisbatan ta'sirchan hisoblanadi:

- Payvandlangan, lekin PWHT (post-weld heat treatment – payvanddan keyingi issiqlik bilan ishlov) o'tkazilmagan uglerodli po'latlar (eng zaif);
- Payvand qilinmagan uglerodli po'latlar;
- PWHT qo'llanilgan uglerodli po'latlar;
- C-0.5Mo (uglerod-molibdenli po'lat);
- Mn-0.5Mo (marganes-molibdenli po'lat);
- 1Cr-0.5Mo;
- 1.25Cr-0.5Mo;
- 2.25Cr-1Mo;
- 2.25Cr-1Mo-V;
- 3Cr-1Mo;
- 5Cr-0.5Mo va kimyoviy tarkibida o'xshash farqlarga ega boshqa qotishma po'latlar;
- Austenitik zanglamaydigan po'latlar (300 series): HTHA ta'siriga juda chidamli;
- Inconel (UNS N06625) kabi Nikel asosli qotishmalar maksimal chidamlilikka ega.

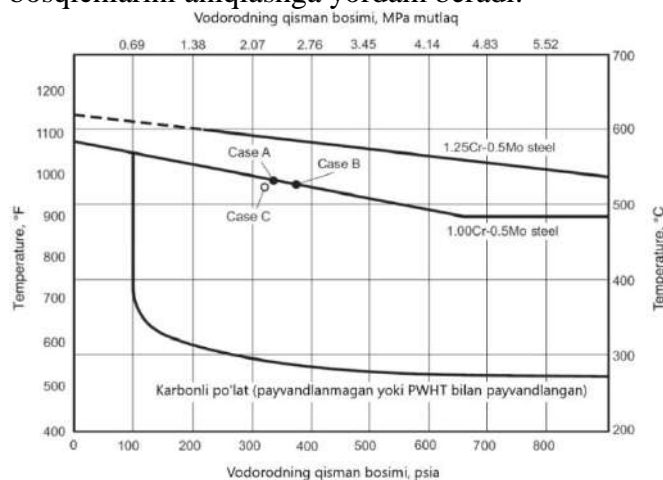
Uskunaning qaysi qismida HTHA yuzaga kelishi oldindan aniq prognoz qilib bo'lmaydi. HTHA natijasida uskunaning ishdan chiqishi yoki almashtirilishiga sabab bo'lgan holatlar payvand chokining issiqlik ta'siriga uchragan zonalarida (HAZ – Heat Affected Zone) va payvanddan uzoqda joylashgan asosiy metallning o'zida aniqlangan. HTHA holatlari payvand metalining o'zida esa nisbatan kamroq uchraydi.

HTHA mavjudligini maxsus tekshiruv usullari yordamida aniqlash mumkin, xususan: metallografik tahlil va SEM (Scanning Electron Microscopy – skanerlovchi elektron mikroskopiya) zararlangan sohalarda qo‘llaniladi.

Po‘latning sirtida uglerodsizlanish (dekarburizatsiya) holati kuzatilishi mumkin.

Ichki dekarburizatsiya natijasida ichki yoriqlar va darzlar hosil bo‘lishi mumkin. Zararning kech bosqichlarida bular standart metallografiya usullari bilan aniqlanadi.

HTHAning eng dastlabki bosqichlarida, namunalar ichida pufakchalar yoki bo‘shliqlar mavjudligini SEM yordamida aniqlash mumkin. Biroq bu bosqichda HTHA bo‘shliqlari bilan surilish (creep) natijasida hosil bo‘lgan bo‘shliqlarni farqlash qiyin bo‘lishi mumkin (Ayrim neftni qayta ishlash xizmatlarida past qotishmali po‘latlar HTHA va creep sharoitlariga birgalikda duchor bo‘ladi). Zararlangan zonalarining ilg‘or metallografik tahlili HTHAning dastlabki mikroyoriqlanish bosqichlarini aniqlashga yordam beradi.



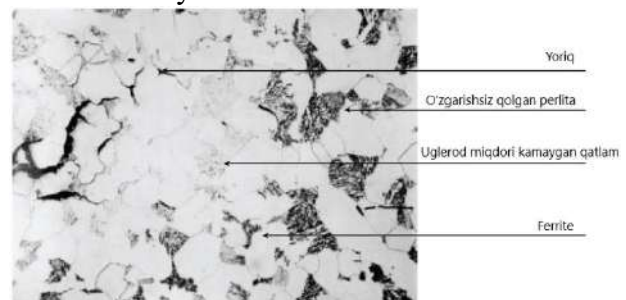
1-rasm. Yuqori haroratli vodorod ta'sirida bo'lgan 1,25Cr-0,5Mo po'latlarning ishlash sharoitlari.

HTHA natijasida hosil bo‘ladigan yoriqlar va darzlar odatda intergranulyar (donalararo) xarakterga ega bo‘lib, ular uglerodli po‘latdagi perlit (ferrit va temir karbid qatlamlari) joylashgan hududlar atrofida rivojlanadi.

Uglerodli po‘latda mahalliy HTHA ta'siri natijasida HAZ (issqlik ta'sir zonasi) va payvandlash chizig‘i (fusion line) bo‘ylab yoriqlar paydo bo‘lishi mumkin, hatto bu zonalarga yaqin joylarda deyarli hech qanday darz yoki

dekarburizatsiya belgilari kuzatilmasligi mumkin.

Ayrim holatlarda blisterlash (shishish) hodisalari oddiy ko‘z bilan ham ko‘rinishi mumkin.



2-rasm. Po'lat uchun yuqori haroratli vodorod xizmatida ichki dekarburizatsiya va yoriqlarni ko'rsatadigan.

Tadqiqot natijalari va ularning muhokamasi. Vodorod ta'siri odatda API RP 941 nashrida belgilangan bosim-harorat chegaralarida ishlash sharoitida muammo tug‘dirmaydi. Agar API RP 941 talab qilgan chegaralar oshib ketilsa yoki tasodifan noto‘g‘ri (qonuniy talablarga javob bermaydigan) past qotishmali materiallar qo‘llansa, mikroyoriqlar hosil bo‘lishi mumkin.

Barcha uskuna materiallari maxsus musbat identifikatsiyalash texnologiyalari (Positive Material Identification, PMI) yordamida tekshirilishi va ishlatilayotgan materiallarning to‘g‘riligi tasdiqlanishi kerak. Har qanday nomaqbul (mos kelmaydigan) material aniqlansa, u zudlik bilan almashtirilishi lozim.

Agar tekshiruv jarayonida yuqori haroratli vodorod ta'siridan kelib chiqqan mikroyoriqlar yoki yoriqlar aniqlansa, ushbu materiallar ham darhol almashtirilishi kerak.

2¼Cr–1Mo materiallari uchun uskunani API 941 grafigiga nisbatan kamida 14°C (25°F) xavfsizlik oralig‘i bilan ishlatish tavsiya etiladi.

2¼Cr–1Mo–V po‘latlarida esa maksimal ish harorati 468°C (874°F) bilan cheklanishi lozim. Biroq ko‘plab amaliy holatlarda ushbu materiallardan tayyorlangan uskuna yoki quvurlar undan past haroratlarda ishlaydi.

Agar uskuna tasodifan API RP 941 grafigida ko‘rsatilgan bosim/harorat chegaralaridan yuqori qiymatga duch kelgan bo‘lsa, mikroyoriqlarni aniqlashga mo‘ljallangan maxsus diagnostika usullari yordamida inspeksiya o‘tkazilishi zarur.

Uskunaga ta'sir qiluvchi stress darajasi ASME standartlarida ruxsat etilgan maksimal

qiymatlardan oshmasligi kerak.

Xrom (Cr) va molibden (Mo) bilan boyitilgan qotishma po‘latlardan foydalanish karbidlarning barqarorligini oshiradi; bu metan (CH₄) hosil bo‘lishining kamayishiga, natijada esa HTHAga nisbatan yuqori chidamlilikka olib keladi. Volfram (W) va vanadiy (V) ham karbidlarni barqarorlashtiruvchi muhim elementlar hisoblanadi.

API RP 941 grafigidan foydalanilganda odatda dizaynda qo‘shimcha xavfsizlik omili sifatida 25°F–50°F (15°C–30°C) va 25 psia–50 psia (170 kPa–345 kPa) oralig‘ida qo‘shimcha zaxira qisman vodorod bosimi qo‘llanadi.

Mavjud C–½Mo po‘latdan tayyorlangan uskunar uchun HTHAga bardoshlilik bo‘yicha noaniqlik korxonalarini inspeksiya samaradorligini, iqtisodiy tahlillarni va materialni yanada chidamli qotishmaga almashtirish zaruratini qayta ko‘rib chiqishga majbur qilmoqda.

Stressdan xalos qilinmagan (PWHT o‘tkazilmagan) uglerodli po‘lat payvand choklari stressdan xalos qilingan (PWHT qilingan) yoki umuman payvandlashsiz bajarilgan konstruksiyalarga nisbatan HTHAga ancha ko‘proq moyillik ko‘rsatgan.

300-seriyali zanglamas po‘lat (SS) bilan qoplangan payvand overlaylari yoki roll-bond cladding (yuza qatlamni bosim ostida birlashtirish), shuningdek ayrim hollarda 400-seriyali SS cladding, yuqori haroratli vodorod muhiti sharoitida keng qo‘llanadi — ayniqsa, asosiy metall yuqori haroratda H₂ yoki H₂S korroziyaga chidamli bo‘lmaganda.

Zanglamas po‘lat overlay yoki cladding texnologik jihatdan asosiy metall bilan metallurgik tarzda to‘g‘ri bog‘langan bo‘lsa, u asosiy metallga yetib boradigan vodorodning qisman bosimini kamaytiradi.

Biroq aksariyat neftni qayta ishlash zavodlari yangi uskuna loyihalash jarayonida bunday qoplamaning HTHAga qarshi qo‘shimcha himoya ta‘sirini hisobga olmaydi. Yangi uskuna loyihalalanayotganda u ishlash sharoitlariga ko‘ra o‘z-o‘zidan HTHAga bardoshli bo‘lishi, ya‘ni qoplama yoki payvand overlayi ta‘minlaydigan qo‘shimcha himoyaga tayanmasligi kerak.

Shunga qaramay, mavjud uskunalarni baholashda, ya‘ni HTHA xavfini aniqlash jarayonida, ayrim korxonalar qoplamaning vodorodning

ta‘sirchan qisman bosimini pasaytiruvchi rolini inobatga oladi.

HTHA zararlanishi tasodifiy tarzda asosiy metall, payvand chokining issiqlik ta‘sir zonalari (HAZ) yoki ba‘zan payvand choklarining o‘zida yuzaga kelishi mumkin.

HTHA asosiy metallning payvand choklaridan ancha uzoq hududlarda ham paydo bo‘lishi ehtimoli mavjud. Ichki qoplama (cladding) yoki payvand overlay bilan jihozlangan idishlarda, agar bu qoplamlar yoriqlangan yoki asosiy metall yuzasidan ajralgan (disbonded) bo‘lsa — ayniqsa API RP 941 grafigida himoyasiz asosiy metall uchun ko‘rsatilgan chegaradan yuqori harorat/bosimda ishlagan bo‘lsa — asosiy metallning ichki qatlamlarida HTHA zarari yuzaga kelishi ehtimoli yuqori bo‘ladi.

Qoplama yoki overlaydagi yoriqlarni PT (penetrant testi) yordamida aniqlash, uning ostida joylashgan asosiy metallning HTHAga uchragan bo‘lishi mumkin bo‘lgan hududlarini aniqlashga yordam beradi.

Qoplama yoki overlayning asosiy metall yuzasidan bo‘rtib chiqishi (bulging) holatlarini vizual tekshiruv (VT) orqali aniqlash ham HTHA ehtimoli mavjud bo‘lgan joylarni topishda foydalidir. Shuni unutmaslik kerakki, faqat payvand choklari yoki nozllarga qaratilgan inspeksiya ayrim lokal HTHA zonalarini e‘tiborsiz qoldirishi mumkin.

FMR (Field Metallographic Replication) usuli mikrobo‘shliqlar, darzlar va dekarburizatsiyani aniqlay oladi, ammo u faqat HTHA ehtimoli mavjud zonalarda qo‘llash uchun mos bo‘lib, asosiy aniqlovchi vosita sifatida tavsiya etilmaydi. Ko‘p hollarda uskuna yuzalarida ishlab chiqarish jarayonidagi issiqlik ishlovlari sababli tabiiy dekarburizatsiya mavjud bo‘lishi mumkin, shuningdek sirtlarda mikrobo‘shliqlar yoki darzlar umuman uchramasligi ham mumkin. Amaliy tajriba ko‘rsatadiki, HTHA zararlanishini aniqlash uchun ko‘pincha 2 mm gacha (0.1 dyuym) metall qatlamini olib tashlash talab qilinadi.

Ichki yuzada blisterlar (shishlar) mavjudligini vizual tekshirish (VT) CH₄ hosil bo‘lishi va ehtimoliy HTHAni ko‘rsatishi mumkin. Biroq HTHA holatlarining aksariyati sirt blisterlari hosil bo‘lmasdan rivojlanadi.

Ichki HTHAni aniqlashda NDE (buzilmasdan

sinov) usullaridan foydalanish yuqori malaka, tajriba va maxsus tayyorgarlikni talab qiladigan murakkab jarayondir. Natijalar ba'zan barqaror bo'lmaydi va ushbu yo'nalish hali rivojlanish bosqichida hisoblanadi.

AUBT (Automated Ultrasonic Backscatter Testing) va ABSA (Angle Beam Spectral Analysis) ayrim holatlarda asosiy metall, payvand va HAZlarda darzlarni aniqlashda ijobiy natijalar ko'rsatgan. Biroq ular muhim yoriqlarni aniqlamay qolishi ham mumkin, shu sababli ishonchli usul sifatida tavsiya etilmaydi.

TOFD (Time of Flight Diffraction) va PAUT (Phased Array Ultrasonic Testing) sirt bilan bog'langan yoki ichki HTHA zararlanishlarini aniqlashda istiqbolli texnologiyalar sifatida qaralmoqda.

An'anaviy yoriqlarni aniqlash usullari — WFMT (Wet Fluorescent Magnetic Particle

Testing), PT (Penetrant Testing), MT (Magnetic Particle Testing) — HTHAni faqat jiddiy yoriqlar sirtga chiqib kelgan hollarda aniqlab bera oladi.

AET (Acoustic Emission Testing) HTHAni aniqlashda ishonchli usul sifatida tasdiqlanmagan.


Ultratovushli so'nish (attenuation) va tezlik nisbati (velocity ratio) usullari HTHAni aniqlashda ishonchsiz deb topilgan va asosiy tekshiruv vositasi sifatida tavsiya etilmaydi.

Xulosa. HTHA – bu sanoat korxonalarida uzoq muddatli va xavfli ta'sir ko'rsatuvchi degradatsiya jarayonidir. Uning oldini olish uchun to'g'ri material tanlash, loyihalashda RP 941 talablariga rioya qilish, payvandlash texnologiyasiga alohida e'tibor berish va monitoring tizimlarini joriy etish zarur. Tadqiqotlar ko'rsatadiki, metallurgik muvofiqlikni ta'minlash va davriy texnik ko'riklar HTHA ni erta aniqlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] American Petroleum Institute. (2020). API Recommended Practice 571: Damage mechanisms affecting fixed equipment in the refining industry (3rd ed.). Washington, DC: American Petroleum Institute.
- [2] Vitovec, F. H., Covey, R. E., & Vance, J. M. (1964). The growth rate of fissures during hydrogen attack of steels. *Proceedings of the API Division of Refining*, 44(3), 179–188.
- [3] Materials Properties Council. (1995). Fitness-for-service evaluation procedures for operating pressure vessels, tanks, and piping in refinery and chemical service (FS-26, Draft No. 5). New York.
- [4] Decker, S., Young, D., & Anderson, W. (2009). Safe operation of a high temperature hydrogen attack affected DHT reactor. In *Corrosion/2009* (Paper No. 09339, 12 pp.). Houston, TX: NACE International.
- [5] American Petroleum Institute. (2016). API Recommended Practice 941: Steels for hydrogen service at elevated temperatures and pressures in petroleum refineries and petrochemical plants (8th ed.). Washington, DC: American Petroleum Institute.
- [6] ASME. (2021). Boiler and Pressure Vessel Code, Section V: Nondestructive examination (pp. 1–432). New York: ASME.
- [7] ASME. (2021). Boiler and Pressure Vessel Code, Section II-A: Ferrous material specifications (pp. 878–880). New York: ASME.
- [8] Ermatov, Z. D., Dunyashin, N. S., Galperin, L. V., & Yusupov, B. D. (2025). Welding of special steels and alloys (pp. 140–178). Tashkent: FAN.
- [9] Ющенко, К. А. (2004). Свариваемость и перспективные процессы сварки материалов. *Автоматическая сварка*, (9), 40–45.
- [10] Демченко, М. В., Сисанбаев, А. В., & Кузеев, И. Р. (2017). Исследования состояния сварного соединения металлов по параметрам деформационного и коррозионного рельефа поверхности. *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал*, 9(5), 98–115.
- [11] Rakhimov, G. B. (2023). Development of anti-detonation additive. *Экономика и социум*, 12(115-1), 604–607.

UO‘K: 621.791:669.14

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.14

**MATERIALLARNI PAYVANDLASH JARAYONIDA OLDINDAN QIZDIRISH
(PREHEAT) VA PAYVANDDAN KEYINGI ISSIQLIK BILAN ISHLOV
(PWHT) BERISH USULLARINING ILMIY ASOSLARI VA AMALIY
AHAMIYATI**



**Azimov Salohiddin
Turamuradovich**

“O‘zbekiston GTL” MChJ
nazoratchi muhandisi, t.f.f.d.,
Qarshi, O‘zbekiston

E-mail:

salokhiddin.azimov1989@gmail.com

ORCID ID: 0009-0007-9122-8463



**Raximov G‘anisher
Baxtiyorovich**

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

E-mail:

ganisher.raximov1@inbox.ru

ORCID ID: 0009-0004-1970-1541



**Buronov Firdavsiy
Eshburiyevich**

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

E-mail:

firdavsiy.buronov@mail.ru

Annotatsiya. Materiallarni payvandlash jarayonida oldindan qizdirish (preheat) va payvanddan keyingi issiqlik bilan ishlov berish (PWHT – Post Weld Heat Treatment) texnologiyalarining ilmiy asoslari hamda amaliy ahamiyati tahlil qilingan. Oldindan qizdirish jarayonining asosiy vazifasi – issiqlik ta’siridagi zonada nojo‘ya strukturalarning hosil bo‘lishini cheklash, vodorod yoriqlarining oldini olish va termik stresslarni kamaytirishdan iboratligi asoslab berilgan. Payvanddan keyingi issiqlik bilan ishlov berish esa payvand chokida yuzaga keladigan ichki kuchlanishlarni bartaraf etish, mikrostrukturani barqarorlashtirish va mexanik xossalarni yaxshilashga xizmat qilishi ko‘rsatib o‘tilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, mazkur usullarni ilmiy asoslangan holda qo‘llash natijasida payvand birikmalarining mustahkamligi va xizmat muddati sezilarli darajada oshadi. Shuningdek, energetika, neft-gaz, mashinasozlik va boshqa sanoat sohalarida bu usullarni qo‘llashning amaliy samaradorligi yoritilgan.

Kalit so‘zlar: payvandlash, preheat, PWHT, issiqlik ta’siridagi zona, mikrostrukturaviy barqarorlik, mexanik xossalalar.

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ МЕТОДОВ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА (PREHEAT) И ТЕРМООБРАБОТКИ
ПОСЛЕ СВАРКИ (PWHT) В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ**

**Азимов Салохиддин
Турамурадovich**

Ведущий инженер ООО
«Uzbekistan GTL», доктор
философских наук, г. Карши,
Узбекистан

**Рахимов Ганишер
Бахтиёрovich**

Каршинский государственный
технический университет,
доцент, доктор философских
наук, Карши, Узбекистан

**Буронов Фирдавси
Эшбуриевич**

Каршинский государственный
технический университет,
доцент, PhD.,
Карши, Узбекистан

Аннотация. Научно проанализированы основы и практическое значение технологий предварительного подогрева (preheat) и термообработки после сварки (PWHT – Post Weld Heat

Treatment) при сварке материалов. Основная задача процесса предварительного подогрева заключается в ограничении образования нежелательных структур в зоне термического влияния, предотвращении водородных трещин и снижении термических напряжений. Термообработка после сварки направлена на устранение внутренних напряжений, возникающих в сварном шве, стабилизацию микроструктуры и улучшение механических свойств. Результаты исследования показывают, что научно обоснованное применение этих методов существенно повышает прочность сварных соединений и срок их службы. Кроме того, освещена практическая эффективность применения данных методов в энергетике, нефтегазовой, машиностроительной и других отраслях промышленности.

Ключевые слова: Сварка, предварительный подогрев, термообработка после сварки, зона термического влияния (ЗТВ), микроструктурная стабильность, механические свойства.

SCIENTIFIC PRINCIPLES AND PRACTICAL SIGNIFICANCE OF PREHEATING (PREHEAT) AND POST-WELD HEAT TREATMENT (PWHT) METHODS IN THE WELDING PROCESS

**Azimov Salohiddin
Turamuradovich**

*Leading Engineer of Uzbekistan
GTL LLC, Doctor of Philosophy,
Karshi, Uzbekistan*

**Rakhimov Ganisher
Bakhtiyorovich**

*Karshi State Technical University,
Associate Professor, Doctor of
Philosophy, Karshi, Uzbekistan*

**Buronov Firdavsi
Eshburiyevich**

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

Abstract. *The scientific principles and practical significance of preheating (preheat) and post-weld heat treatment (PWHT – Post Weld Heat Treatment) technologies in the welding of materials have been analyzed. The primary purpose of the preheating process is to limit the formation of undesirable structures in the heat-affected zone, prevent hydrogen-induced cracking, and reduce thermal stresses. Post-weld heat treatment serves to relieve internal stresses in the weld, stabilize the microstructure, and improve mechanical properties. The research results indicate that the scientifically grounded application of these methods significantly enhances the strength and service life of welded joints. In addition, the practical effectiveness of these methods in the energy, oil and gas, mechanical engineering, and other industrial sectors has been highlighted.*

Keywords: *welding, preheating, post-weld heat treatment (PWHT), heat-affected zone (HAZ), microstructural stability, mechanical properties.*

Kirish. Payvandlash texnologiyalari sanoatning barcha sohalarida, xususan, neft-gaz, energetika, mashinasozlik va kimyo sanoatlarida keng qo'llaniladi. Yuqori bosim ostida ishlaydigan idishlar, quvurlar va issiqlik almashinish qurilmalari uchun ishlatiladigan turli xildagi materiallarni birlashtirishda sifatli va ishonchli chok hosil qilish eng muhim talabdir. Shu boisdan payvandlash jarayonida oldindan qizdirish (preheat) va payvanddan keyingi issiqlik bilan ishlov berish (PWHT – Post Weld Heat Treatment) texnologiyalarini qo'llash alohida ahamiyat kasb etadi.

Payvandlash jarayonida oldindan qizdirishning asosiy vazifasi – sovish tezligini

pasaytirish, issiqlik ta'sirida bo'lgan zonada (ITZ) nojo'ya fazalarning hosil bo'lishini cheklash hamda sovuq yoriqlar (hydrogen cracking) xavfini kamaytirishdir.

Oldindan qizdirish natijasida vodorodning diffuziyasi tezlashib, payvand chizig'ida vodorod to'planishi kamayadi.

Austenitdan martensitga o'tish tezligi sekinlashadi va bu esa qattiq, mo'rt strukturalarning hosil bo'lishini oldini oladi.

Termal stresslar bir tekisda taqsimlanadi, natijada yoriqlanish ehtimoli keskin kamayadi.

Ilmiy jihatdan, preheat harorati materialning uglerod ekvivalenti (CE), qalinligi, kimyoviy tarkibi hamda ishlash sharoitlariga bog'liq holda

aniqlanadi.

Issiqlik bilan ishlov berish ishlarini boshlashdan oldin barcha yuzalar tozalanishi va past erish haroratiga ega bo'lgan ifloslantiruvchi moddalar (masalan, oltingugurt, fosfor, qo'rg'oshin va boshqalar)dan holi bo'lishi kerak.

Payvand birikmasi mahalliy qizdirilishi shunday amalga oshirilishi kerakki, butun zona (lenta) bir tekisda belgilangan haroratgacha qizdirilsin va elektr qarshilik usuli orqali ko'rsatilgan vaqt davomida ushlab turilsin.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Kam qotishmali po'lat asosiy materiallari, jumladan ishlab chiqarish payvand choklari, quyidagi holatlarda yetkazib berilishi kerak: normalizatsiyalangan, normalizatsiyalangan va temperlangan, tezlashtirilgan sovitish va temperlangan yoki qizdirilib so'ndirilgan va temperlangan. Temperlash PWHT (payvanddan keyingi issiqlik bilan ishlov berish) uchun belgilangan harorat diapazonining yuqori chegarasidan kamida 10 °C yuqori haroratda bajarilishi shart. Bundan tashqari, issiqlik almashinish quvurlari tavlani (annealed) holatida yetkazib berilishi mumkin. Muqobil issiqlik bilan ishlov berish usullari Buyurtmachi (Owner) ko'rib chiqishi va tasdiqlashi uchun taqdim etilishi lozim.

321/321H va 347/347H zanglamaydigan po'lat komponentlari, shu jumladan ishlab chiqarish payvand choklari, 1040 °C dan oshmagan haroratda eritma bilan ishlov berilishi (solution heat treatment) va 910°C±10°C da 4 soat davomida termik barqarorlashtirish (thermal stabilization) qilinishi shart.

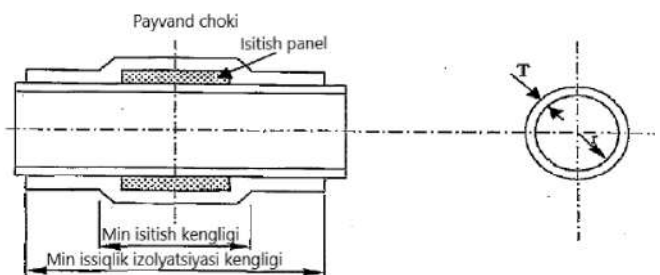
Kommunal xizmatlar (masalan: havo, azot, sovitish suvi va h.k.) uchun mo'ljallangan trubali mahsulotlar bundan mustasno, 300-seriyali zanglamaydigan po'latdan tayyorlangan, avtomatik payvandlash va chiziqli induksion qizdirish orqali ishlab chiqarilgan autogen payvandlangan trubali mahsulotlar qayta eritma bilan tavlani (re-solution annealed) shart. Bu jarayon material spetsifikatsiyasida ko'rsatilgan minimal haroratda, karbidlarning qayta erishini ta'minlash uchun yetarli vaqt davomida amalga oshirilishi va ularning qayta cho'kishini oldini olish uchun tezkor sovitish bilan yakunlanishi lozim.

Duplex po'lat asosiy materiallari, shu jumladan ishlab chiqarish payvand choklari, barcha

ishlab chiqarish, issiq ishlov berish yoki shakl berish amaliyotlaridan so'ng eritma bilan tavlani (solution annealed) shart. Material tarkibida intermetallik fazalar deyarli bo'lmasligi kerak (ya'ni 1% dan kam).

Qoplamali listlar (clad plate) va zarb qilingan qismlar qoplama jarayonidan so'ng issiqlik bilan ishlov berilishi kerak. Issiqlik bilan ishlov berish asosiy materialning xossalari tiklashi, lekin qoplama materialining korroziyaga chidamliligini buzmasligi zarur. Agar sovuq tekislash (cold flattening) talab qilinsa, bu ish issiqlik bilan ishlov berishdan keyin amalga oshirilishi lozim, bundan boshqacha kelishuv buyurtmachi bilan bo'lmagan taqdirda.

Qizdirish zonasining minimal kengligi payvand chokining har ikki tomonida 6t yoki 150 mm bo'lishi kerak (qaysi biri kattaroq bo'lsa, o'sha qiymat olinadi). Issiqlik izolyatsiyasi esa qizdirish zonasining chetidan kamida 250 mm uzoqqa cho'zilishi lozim.



1-rasm. Isitish kengligi va nazorat (tekshiruv) kengligi bo'yicha minimal talablar.

Flanets payvand choklari uchun flanetsning butun yuzasi — ichki va tashqi tomonlari — izolyatsiya qilinishi shart. Amaliy jihatdan imkon qadar, qizdirish zonasiga to'g'ri keluvchi ichki sirt ham izolyatsiya qilinishi kerak. Agar bu imkonsiz bo'lsa, uchlari havo oqimini to'sish va konveksiya oqimlarini kamaytirish uchun mahkam yopilishi lozim. Shuningdek, imkon qadar quvurlarning uchlari ham ichki havo oqimlarining oldini olish maqsadida muhrlanishi kerak.

Barcha ishlov berilgan sirtlar, masalan, flanets yuzalari, rezbali bolt teshiklari, rezbalar va hokazolar, issiqlik bilan ishlov jarayonida oksidlanishdan himoya qilinishi kerak. Buning uchun deoksaluminat yoki zaruratga qarab boshqa mos material bilan qoplash talab etiladi.

Qizdirish va sovitish tezliklari soatiga kamida

50°C dan kam bo'lasligi kerak. 315°C dan yuqori haroratlarda qizdirish tezligi quyidagidan oshmasligi shart: 5600°C/maksimal qalinlik (mm) lekin hech qachon soatiga 222°C dan yuqori bo'lasligi kerak.

Ushlab turish (holding) davrida maksimal harorat belgilangan minimal ushlab turish haroratidan 50°C dan ortiq bo'lasligi shart.

Sovitish tezligi quyidagidan oshmasligi kerak: 6875°C/maksimal qalinlik (mm) lekin hech qachon soatiga 270°C dan yuqori bo'lasligi kerak.

Termoparalarni joylashtirish tartibi:

Aylana (circumferensial) uskuna payvand choklari uchun – to'rt dona termopara (thermocouple) payvand chokining namlanish (soaking) zonasida, agar ichki yuzaga kirish mumkin bo'lsa, ichki va tashqi yuzalar bo'ylab teng masofada joylashtirilishi kerak.

Nozul-qobiq (nozzle-to-shell) birikmalari uchun – bitta termopara nozul devorining eng qalin qismiga, bitta termopara nozul-qobiq payvand chokiga (ichki tomondan, agar kirish mumkin bo'lsa) va tashqi yuzasiga o'rnatilishi kerak. Har xil qalinlikdagi qismlardan tashkil topgan elementlar uchun esa – bittasi eng qalin qismga, bittasi eng yupqa qismga va bittasi qalinlik o'tish (transition) qismiga joylashtirilishi lozim.

Termopara joylashuvi payvand chokining markazida bo'lishi kerak.

Quvur diametri NPS4 ga teng yoki kichik, lekin NPS2 dan katta bo'lsa - bitta termopara soat 12 holatida (yuqori qismida) joylashtiriladi.

Quvur diametri NPS12 ga teng yoki kichik, lekin NPS4 dan katta bo'lsa - bitta termopara soat 12 holatida (yuqori tomonda) va bitta soat 6 holatida (pastki tomonda) joylashtiriladi.

Quvur diametri NPS12 dan katta bo'lsa - to'rt ta termopara aylana bo'ylab teng masofada joylashtiriladi.

Quvur diametri 1 dyuymga teng yoki undan kichik bo'lsa (buralma – elbow va tarmoq – Tee qismlarida) - bitta termopara soat 12 holatida (yuqori qismida) joylashtiriladi.

Harorat nazorati termoparalar yordamida amalga oshirilishi va harorat doimiy ravishda harorat yozuv jadvaliga qayd etib borilishi kerak.

Oldindan qizdirish (Preheat) bo'yicha talablar:

Preheat istalgan mos usulda amalga oshirilishi

mumkin. Agar yoqilg'i gazi yoki moy ishlatilsa, ular oltingugurtsiz bo'lishi shart. Yoqilg'i/havo aralashmasi neytral alangani hosil qilishi va payvand joyida hech qanday uglerod qoldirmasligi kerak;

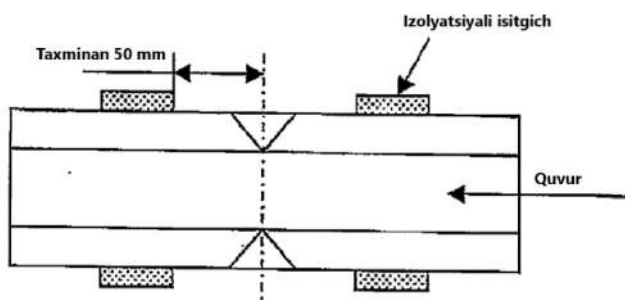
1-jadval

Oldindan qizdirish va qatlamlar oralig'idagi haroratlari

P-No.	Material turi	Payvand joyidagi nominal qalinlik (mm)	Minimal oldindan qizdirish harorati (°C)	Maksimal qatlamlar oralig'idagi harorat (°C)
1	Uglerodli po'lat	t ≤ 13	10	300
		13 < t ≤ 25	75	300
		25 < t ≤ 50	100	300
		t > 50	150	300
3	Uglerod-0.5Mo	t ≤ 13	10	300
		13 < t ≤ 25	75	300
		25 < t ≤ 50	100	300
		t > 50	150	300
	Mn-Mo, Ni-Mo	Hammasi	150	300
4	1Cr-0.5Mo, 1.25Cr-0.5Mo	t ≤ 13	125	300
		13 < t ≤ 25	150	300
		t > 25	175	350
5A, 11A&B	2.25Cr-1Mo, Ni-Cr-Mo, Mn-Mo-Ni	t ≤ 13	150	300
		13 < t ≤ 25	175	350
5B	5Cr-0.5Mo, 9Cr-1Mo	t > 25	200	350
	9Cr-1Mo-Nb-V	Hammasi	200	350
5C	Enhanced 2.25Cr-1Mo, 3Cr-1Mo-V, 2.25Cr-1Mo-V,	t ≤ 13	150	300
		13 < t ≤ 25	175	350
		t > 25	200	350
6 & 7	400 seriyali zanglamaydigan po'lat	Hammasi	Kod bo'yicha	-
8	300 seriyali zanglamaydigan po'lat	Hammasi	10	200
10H	Duplex steel	T ≤ 50 ⁽³⁾ t > 50	10 100	200 200
34-35	Cu-base alloys	Hammasi	10	200
41-45	Ni-base alloys	Hammasi	10	200

Agar payvand tayyorlangan joyning nominal qalinligi 50 mm yoki undan kam bo'lsa, preheat harorati payvand tayyorlash chetidan 4t yoki 50 mm (qaysi biri kichik bo'lsa) masofagacha saqlanishi kerak;

Agar payvand tayyorlangan joyning nominal qalinligi 50 mm dan katta bo'lsa, preheat harorati payvand tayyorlash chetidan 75 mm masofagacha saqlanishi kerak;



2-rasm. Oldindan qizdirish (Preheating) uskunasi sxemasi.

2-jadval

Payvanddan keyingi issiqlik bilan ishlov haroratlari

P-No.	Material turi	Payvand joyidagi nominal qalinlik (mm)	Ushlab turish harorati (°C)		Ushlab turish haroratidagi vaqt (daqiqalarda)	
			Uskuna	Quvurlar / Tubalar	Har mm	Minimal
1	Uglerodli po'lat	Kod bo'yicha	593-640	593-640	2,5	60
3	C-0.5Mo, Mn-Mo, Ni-Mo	Kod bo'yicha	620-650	620-650	2,5	60
4	1Cr-0.5Mo, 1.25Cr-0.5Mo	Hammasi	680-710	704-730	2,5	60
5A	2.25Cr-1Mo	Hammasi	690-720	704-730	2,5	120
5B	5Cr-0.5Mo, 9Cr-1Mo	Hammasi	704-730	704-730	2,5	120
	9Cr-1Mo-Nb-V	Hammasi	730-760	730-760	2,5	120
5C	Enhanced 2.25Cr-1Mo	Hammasi	690-720	704-760	2,5	120
	3Cr-1Mo-V	Hammasi	700-730	704-760	2,5	120
	2.25Cr-1Mo-V	Hammasi	700-730	704-760	2,5	120
6 & 7	400 seriyali zanglamaydigan po'lat	Kod bo'yicha	Kod bo'yicha	N/A	2,5	60
8	300 seriyali zanglamaydigan po'lat	Kod bo'yicha	Kod bo'yicha	Kod bo'yicha	Kod bo'yicha	Kod bo'yicha
9A & 9B	Ni-alloy steels	Kod bo'yicha	593-620	593-620	2,5	60
11A&B	Ni-Cr-Mo, Mn-Mo-Ni	Hammasi	Kod bo'yicha	N/A	2,5	60
45	800/800H/800HT	Hammasi	885 min.	885 min.	Kod bo'yicha	90

Preheat harorati faqatgina yetarli vaqt o'tgach (har 25 mm qalinlikka 2 daqiqa asosida) issiqlik tenglashishi uchun o'lchanishi kerak, yoki muqobil ravishda preheat qo'llanilgan joyning qarama-qarshi tomonida o'lchash mumkin;

300-seriyali zanglamaydigan po'latlar, duplex po'latlar va Ni asosidagi qotishmalarda ishlatiladigan harorat ko'rsatuvchi bo'yoq qalamchalari zararli qo'shimchalardan (masalan, oltingugurt, galogenlar) xoli bo'lishi kerak;

Agar zarur bo'lgan preheat harorati 150°C yoki undan yuqori bo'lsa, unda metall harorati payvand tugaguniga qadar preheat haroratida ushlab

turilishi kerak.

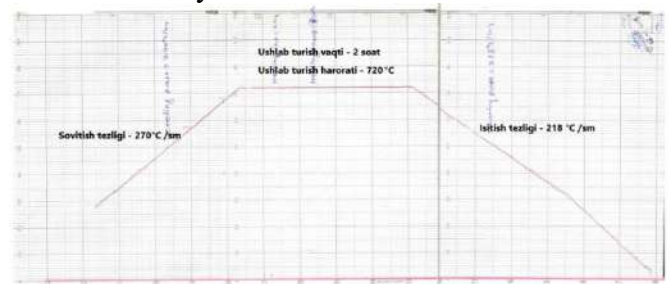
Uskuna va quvurlar spoolari uchun yopiq pechdagi PWHT eng ma'qul usul hisoblanadi. Mahalliy yopuvchi payvandlar uchun esa elektr qarshilikli isitish, induksiya isitish yoki muffle pechdagi PWHT qo'llanilishi mumkin.

Agar quvurlar diametri NPS2 dan kichik bo'lsa va seal yoki socket payvandlarda yuqoridagi usullar amaliy bo'lmasa, PWHT mahalliy isitish orqali amalga oshirilishi mumkin, bunda: "Yumshoq" gaz olovi ishlatiladi, olov doimiy harakatda bo'lishi kerak, hech bir qism maksimal PWHT haroratidan oshmasligi lozim.

Tadqiqot natijalari va ularning muhokamasi. Tadqiqot A335-P11 po'lat materiali va 15,09 mm nominal qalinlikdagi metalda olib borildi. Oldindan qizdirish (preheat) harorati 150°C, qatlamlar oralig'idagi maksimal harorat esa 285°C sifatida belgilandi. Isitish jarayoni 218°C/mm tezlikda amalga oshirildi. Payvand chokining issiqlik bilan ishlov berish (PWHT) jarayonida ushlab turish harorati 720°C, va ushbu haroratda ushlab turish vaqti 120 daqiqa etib belgilandi. Sovitish tezligi esa 270°C/mm ga teng bo'ldi.

Payvand choki va metallning qattqlik natijalari quyidagicha aniqlandi:

- Payvand chokida: 178 HB;
- Issiqlik tasiri zonasi (HAZ): 168 HB;
- Asosiy metal: 162 HB.



3-rasm. Payvanddan keyingi issiqlik bilan ishlov berish hisoboti.

Bu natijalar payvand chokida PWHT samarali bajarilganligini ko'rsatadi, chunki payvand chokining qattqligi asosiy metalga nisbatan bir oz yuqoriroq bo'lib, u PWHT orqali ichki kuchlanishlar va mikrostrukturadagi nomutanosibliklarni kamaytirganini bildiradi. Issiqlik tasiri zonasidagi qattqlikning asosiy metalga yaqinligi (168 HB) esa temperleme jarayonining metallning mexanik xossalarini saqlab qolganini tasdiqlaydi.

Shuningdek, payvand choki sifatini baholash uchun radiografik tekshiruv (RT) o'tkazildi. Tekshiruv natijalari qabul qilindi, bu esa payvandning ichki nuqsonsizligini va sifatli birikishini tasdiqlaydi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, belgilangan oldindan qizdirish va PWHТ shartlari A335-P11 po'lat materialida 15,09 mm qalinlikda payvand choki sifatini ta'minlash uchun yetarli bo'ldi.


Xulosa. Materiallarni payvandlashda oldin-

dan qizdirish va payvanddan keyingi issiqlik bilan ishlov berish texnologiyalari ilmiy jihatdan asoslangan holda qo'llanilishi kerak. Bu usullar payvand birikmasining sifatini yaxshilaydi, ichki kuchlanishlarni kamaytiradi va konstruktsiyalarning xavfsiz ishlashini ta'minlaydi. Shu bois, sanoat miqyosida ushbu usullarni me'yoriy hujjatlar asosida qo'llash muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] American Petroleum Institute. (2020). API Recommended Practice 571: Damage mechanisms affecting fixed equipment in the refining industry (3rd ed.). Washington, DC: American Petroleum Institute.
- [2] Vitovec, F. H., Covey, R. E., & Vance, J. M. (1964). The growth rate of fissures during hydrogen attack of steels. *Proceedings of the API Division of Refining*, 44(3), 179–188.
- [3] Materials Properties Council. (1995). Fitness-for-service evaluation procedures for operating pressure vessels, tanks, and piping in refinery and chemical service (FS-26, Draft No. 5). New York.
- [4] Decker, S., Young, D., & Anderson, W. (2009). Safe operation of a high temperature hydrogen attack affected DHT reactor. In *Corrosion/2009* (Paper No. 09339, 12 pp.). Houston, TX: NACE International.
- [5] American Petroleum Institute. (2016). API Recommended Practice 941: Steels for hydrogen service at elevated temperatures and pressures in petroleum refineries and petrochemical plants (8th ed.). Washington, DC: American Petroleum Institute.
- [6] ASME. (2021). Boiler and Pressure Vessel Code, Section V: Nondestructive examination (pp. 1–432). New York: ASME.
- [7] ASME. (2021). Boiler and Pressure Vessel Code, Section II-A: Ferrous material specifications (pp. 878–880). New York: ASME.
- [8] Ermatov, Z. D., Duniyashin, N. S., Galperin, L. V., & Yusupov, B. D. (2025). Welding of special steels and alloys (pp. 140–178). Tashkent: FAN.
- [9] Ющенко, К. А. (2004). Свариваемость и перспективные процессы сварки материалов. *Автоматическая сварка*, (9), 40–45.
- [10] Демченко, М. В., Сисанбаев, А. В., & Кузеев, И. Р. (2017). Исследования состояния сварного соединения металлов по параметрам деформационного и коррозионного рельефа поверхности. *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал*, 9(5), 98–115.
- [11] Rakhimov, G. B. (2023). Development of anti-detonation additive. *Экономика и социум*, 12(115-1), 604–607.
- [12] Rakhimov, G. B., & Sayfiyev, E. K. (2024). Research of the process of producing alcohols based on by-products obtained in the Fischer–Tropsch synthesis. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 2(3).
- [13] Raximov, G. A. B. (2024). Qobiq-quvurlardan foydalangan holda issiqlik almashinish uskunasi samaradorligini oshirish uchun konstruksiyani takomillashtirish. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 2(3).
- [14] Rakhimov, G. (2023). Qobiq quvurli issiqlik almashinish qurilmalaridagi issiqlik almashinish samaradorligiga gidrodinamik parametrlarning ta'sirini o'rganish. *Innovatsion texnologiyalar*, 51(3), 77–86.

УДК: 622.279.5

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.19

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ ВОДОЙ В ТРЕЩИНОВАТО-ПОРИСТЫХ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ



**Асадова Хулкар
Боймановна**

Доцент, АО «Узлитнефтегаз»,
Карши, Узбекистан
E-mail: hulkar70@mail.ru
ORCID ID 0009-0002-4568-5106



**Султонов Нодир
Нормуродович**

PhD, Каршинский
государственный технический
университет,
Карши, Узбекистан
E-mail: nodir.sultonov.90@mail.ru
ORCID ID: 0009-0005-1838-7439



**Курбанов Азиз
Тешавоевич**

Доцент Каршинского
государственного технического
университета,
Карши, Узбекистан
E-mail: azizbek.qurbonov@mail.ru
ORCID ID: 0009-0008-2203-0362

Аннотация. В статье представлен комплексный подход к количественной оценке коэффициента вытеснения нефти водой (КВНВ) в трещиновато-пористых карбонатных коллекторах на основе многофакторного анализа. Рассмотрены геолого-физические и технологические параметры, определяющие эффективность процессов заводнения в рифовых и депрессионных типах карбонатных пород. Предложены усовершенствованные регрессионные модели, связывающие КВНВ с коэффициентом пористости, промывки пласта, неоднородностью и водонасыщенностью. Выполнена статистическая обработка данных по 21 месторождению Бухаро-Хивинского региона, построены корреляционные матрицы и проведена верификация результатов на промысловых объектах Северный Уртабулак и Кукдумалак. Установлено, что коэффициент промывки пласта оказывает доминирующее влияние на значение КВНВ. Полученные зависимости могут быть использованы для прогнозирования показателей вытеснения нефти и оптимизации систем поддержания пластового давления в условиях двойной пористости.

Ключевые слова: коэффициент вытеснения нефти водой, карбонатные коллекторы, многофакторный анализ, коэффициент промывки пласта, регрессионные модели, повышение нефтеотдачи.

DARZLI-G‘OVAKLI KARBONAT KOLLEKTORLARIDAN NEFTNI SUV BILAN SIQIB CHIQRARISH KOEFFITSIYENTINI BAHOLASHGA KOMPLEKS YONDASHUV

**Asadova Hulkar
Boymonovna**

“O‘zlitinefigaz” AJ, dotsent,
Qarshi, O‘zbekiston

**Sultonov Nodir
Normurodovich**

PhD, Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

**Kurbanov Aziz
Teshavoyevich**

Qarshi davlat texnika universiteti
dotsenti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Maqolada darzli-g'ovakli karbonat kollektorlaridan suv bilan neftni siqib chiqarish koeffitsiyentini ko'p omilli tahlil asosida miqdoriy baholash bo'yicha kompleks yondashuv taqdim etilgan. Rif va depressiya tipidagi karbonat jinslarida suv haydash jarayonlarining samaradorligini belgilovchi geologik-fizikaviy va texnologik parametrlar ko'rib chiqilgan. Qatlamni yuvish koeffitsiyenti va suvga to'yinganlik koeffitsiyentlari bilan bog'laydigan takomillashtirilgan regression modellar taklif etilgan. Buxoro-Xiva mintaqasidagi 21 ta kon bo'yicha ma'lumotlar statistik jihatdan qayta ishlangan, korrelyatsion matritsalar tuzilgan va natijalar Shimoliy O'rtabuloq va Ko'kdumaloq kabi obyektlarida verifikatsiya qilingan. Qatlamni yuvish koeffitsiyenti SNSK qiymatiga ta'sir ko'rsatishi aniqlangan. Olingan bog'liqliklar neftni siqib chiqarish ko'rsatkichlarini prognoz qilish va ikkilamchi g'ovaklilik sharoitida qatlam bosimini ushlab turish tizimlarini optimallashtirish uchun qo'llanilishi mumkin.

Kalit so'zlar: Suv bilan neftni siqib chiqarish koeffitsiyenti (SNSK), karbonat kollektorlari, ko'p omilli tahlil, qatlamni yuvish koeffitsiyenti, regression modellar, neft qazib olishni oshirish.

AN INTEGRATED APPROACH TO ASSESSING OIL DISPLACEMENT EFFICIENCY BY WATER IN FRACTURED-POROUS CARBONATE RESERVOIRS

**Asadova Khulkar
Boymanova**

"Uzlitneftgaz" JSC, Associate
Professor, Karshi, Uzbekistan

**Sultonov Nodir
Normurodovich**

PhD, Karshi State Technical
University, Karshi, Uzbekistan

**Kurbanov Aziz
Teshavoevich**

Associate Professor, Karshi State
Technical University,
Karshi, Uzbekistan

Abstract. This paper presents an integrated methodology for the quantitative assessment of Oil Displacement Efficiency by Water (ODEW) in fractured-porous carbonate reservoirs using a multivariate statistical analysis. We examine the geological-physical and engineering parameters crucial for defining the efficacy of waterflooding processes in both reefal and depression-type carbonate formations. The study proposes advanced regression models that correlate ODEW with parameters such as porosity, areal and vertical sweep efficiency, heterogeneity, and initial water saturation. Statistical analysis was conducted using a database encompassing 21 fields in the Bukhara-Khiva region, resulting in the construction of correlation matrices and subsequent verification of the models against field data from the Severny Urtabulak and Kukdumalak assets. Our findings establish that the sweep efficiency factor exerts the most significant influence on the resultant ODEW value. The derived dependencies provide a predictive tool for estimating oil displacement performance and can be utilized to optimize Pressure Maintenance Systems (PMS) in reservoirs exhibiting dual-porosity characteristics.

Keywords: Oil Displacement Efficiency by Water (ODEW), carbonate reservoirs, multivariate analysis, sweep efficiency factor, regression modeling, Enhanced Oil Recovery (EOR).

Введение. В последние десятилетия наблюдается устойчивая тенденция увеличения доли трудноизвлекаемых запасов углеводородов, приуроченных к карбонатным коллекторам [1; с. 116–124, 2; с.1-3]. Карбонатные месторождения характеризуются сложной геологической структурой, высокой неоднородностью и трещиноватостью, что значительно осложняет процессы заводнения и снижает эффективность вытеснения нефти водой [3; с. 45–49, 4; с.150].

Проблема оценки коэффициента вытеснения нефти водой (КВНВ) в трещиновато-пористых карбонатных пластах особенно актуальна для Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона, где более 70% нефтяных запасов локализовано в коллекторах данного типа [5; с.]. Традиционные модели КВНВ, основанные на упрощённых зависимостях, не учитывают реальную многопараметрическую природу процессов фильтрации и приводят к существенным ошибкам при проектировании

систем поддержания пластового давления [6; с. 7; с.1012-1024].

Согласно положениям Стратегии развития «Новый Узбекистан на 2022–2026 годы», одной из приоритетных задач является повышение эффективности использования углеводородных ресурсов на основе научно обоснованных технологий и цифровых методов управления разработкой [8; с.108-115]. В этих условиях разработка комплексных моделей оценки КВНВ приобретает не только теоретическое, но и стратегическое значение для устойчивого развития нефтегазового сектора страны [9; с].

Цель исследования. Цель настоящего исследования заключается в разработке и верификации усовершенствованных многофакторных регрессионных моделей, позволяющих с высокой точностью оценивать, прогнозировать и интерпретировать коэффициент вытеснения нефти водой (КВНВ) в трещиновато-пористых карбонатных коллекторах различного генетического типа [10; с. 62-69].

Основная задача заключается не только в построении эмпирических зависимостей, но и в установлении физически обоснованных закономерностей между геолого-физическими характеристиками пород (пористостью, проницаемостью, трещиноватостью, неоднородностью, водонасыщенностью) и технологическими параметрами разработки (интенсивностью промывки пласта, режимом заводнения, динамикой пластового давления) [11; с.38-45].

В рамках данной цели предусматривается: проведение комплексного анализа влияния природных и технологических факторов на процессы вытеснения нефти водой в условиях двойной пористости; построение статистически устойчивых моделей для различных фациальных типов коллекторов (рифовые и депрессионные карбонатные породы) [12; с.1210-1224]; сравнение полученных моделей с существующими отечественными и зарубежными аналогами с целью выявления их применимости к месторождениям Бухаро-Хивинского региона; разработка рекомендаций по интеграции результатов моделирования в систему цифрового управления разработкой месторождений и оптимизации методов

повышения нефтеотдачи [13; с.77-84].

Таким образом, исследование направлено на формирование универсальной методики прогнозирования КВНВ, обеспечивающей повышение достоверности проектных решений, сокращение неопределённости в моделях заводнения и рост эффективности разработки нефтяных месторождений с карбонатными коллекторами [14; с.312, 15; с].

Методика и исходные данные.

Исследование проводилось на основе комплексного анализа промысловых и лабораторных данных по 21 месторождению Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона, находящихся в различных стадиях разработки (от 24 до 67 лет эксплуатации) [3; с.45-49]. Использованы данные по 450 образцам керна, промысловые отчёты, результаты гидродинамических исследований и цифровые модели пластов.

Для статистической обработки применялся метод Кульбака, обеспечивающий количественную оценку информативности факторов [7; с.1012-1024]. Построение моделей выполнено на основе многофакторного регрессионного анализа с проверкой устойчивости по независимым выборкам и оценкой остаточной дисперсии [9; с].

Особое внимание уделено сравнению двух типов карбонатных коллекторов — рифовых и депрессионных фаций [10; с. 11; с.38-45]. Для каждого типа построены отдельные корреляционные матрицы и уравнения регрессии.

Результаты анализа и моделирования.

1. Моделирование для рифовых коллекторов.

По результатам обработки статистических данных для рифовых карбонатных коллекторов получено уравнение регрессии [12; с.1210-1224]:

$$K_{\text{выт}} = 0,4280 * V_{\text{пор}} - 0,7142 * K_{\text{вн}} + 3,1175 * m - 0,0079 * S - 0,183 \quad (1)$$

Данное уравнение демонстрирует высокую чувствительность КВНВ к коэффициенту промывки пласта и пористости [13; с.77-84].

Таблица 1 отражает результаты корреляционного анализа между основными параметрами, влияющими на коэффициент вытеснения нефти водой в рифовых карбонатных

коллекторах. Высокие значения корреляции (до 0.82) указывают на доминирующую роль коэффициента пористости и промывки пласта в формировании КВНВ, тогда как отрицательные коэффициенты корреляции с водонасыщенностью свидетельствуют о снижении эффективности вытеснения при увеличении насыщенности водой.

Таблица 1.

Корреляционная матрица для рифовых карбонатных коллекторов

Факторы и показатель	Коэффициент корреляции					Средние значения	Дисперсия
	Коэффициент вытеснения нефти водой	Коэффициент промывки пласта	Коэффициент водонасыщенности	Коэффициент пористости	Коэффициент неоднородности		
Коэффициент вытеснения нефти водой	1	0.8244	-0.3105	0.4277	-0.1613	0.228	0.1923
Коэффициент промывки пласта	0.8244	1	0	0	0	0.458	0.3706
Коэффициент водонасыщенности	-0.3105	0	1	0	0	0.260	0.0836
Коэффициент пористости	0.4277	0	0	1	0	0.14	0.0264
Коэффициент неоднородности	-0.1613	0	0	0	1	4.503	3.9686

2. Моделирование для депрессионных карбонатных коллекторов.

Для пород депрессионной фации зависимость приняла вид [14; с. 312]:

$$K_{\text{выт}} = 0,7472 * V_{\text{пор}} - 0,2702 * K_{\text{вн}} + 3,7901 * m - 0,0542 * S - 0,2740 \quad (2)$$

Таблица 2.

Корреляционная матрица для депрессионных карбонатных коллекторов

Факторы и показатель	Коэффициент корреляции					Средние значения	Дисперсия
	Коэффициент вытеснения нефти водой	Коэффициент промывки пласта	Коэффициент водонасыщенности	Коэффициент пористости	Коэффициент неоднородности		
Коэффициент вытеснения нефти водой	1	0.6491	-0.1350	0.7477	-0.4716	0.238	0.2149
Коэффициент промывки	0.6491	1	0	0	0	0.324	0.1867
Коэффициент водонасыщенности	-0.1350	0	1	0	0	0.300	0.1077
Коэффициент пористости	0.7477	0	0	1	0	0.15	0.0424
Коэффициент неоднородности	0	0	0	0	1	4.007	1.8718

Из таблице 2 следует, что наибольшее влияние на коэффициент вытеснения нефти водой в объектах представленных депрессионными карбонатными породами оказывает коэффициент пористости и коэффициент промывки пласта и в значительно меньшей степени коэффициент неоднородности и коэффициент начальной водонасыщенности. Анализ показал, что наибольшее влияние на КВНВ оказывают коэффициент пористости и коэффициент промывки пласта, что согласуется

с результатами зарубежных исследований [5; с. 6; с. 8; с.108-115].

Практическая апробация. Разработанная методика была апробирована на месторождениях Северный Уртабулак и Кукдумалак [9; с. 10; с. 62-69].

На Северном Уртабулаке оптимизация системы ППД позволила сократить объём закачки воды на 250 тыс. м³/год и снизить обводнённость продукции на 4,1%.

На Кукдумалаке внедрение пенных систем воздействия на пласт обеспечило рост суточных дебитов нефти на 1,3 т/сут и снижение обводнённости на 4%.

Экономический эффект от внедрения составил более 1,2 млн долларов США в год, что подтверждает практическую значимость разработанной модели [13; с.77-84, 14; с. 312, 15; с].

Обсуждение результатов. Сравнение разработанных моделей с традиционными показало, что точность прогнозирования КВНВ увеличена в 2,5–3,8 раза, а средняя ошибка снизилась до 7,5–11,3% [6; с. 9; с.].

Проведённый анализ дисперсии показал, что среди всех рассмотренных факторов именно коэффициент промывки пласта (*m*) оказывает доминирующее влияние на коэффициент вытеснения нефти водой (КВНВ), его вклад в общую дисперсию модели достигает 80% [10; с. 62-69]. Это означает, что эффективность вытеснения нефти напрямую зависит от того, насколько полно и равномерно нагнетаемая вода промывает продуктивный объём пласта. При недостаточной промывке остаются застойные зоны, в которых нефть не замещается водой, что ведёт к снижению нефтеотдачи. Такое доминирование коэффициента промывки объясняется физической природой процесса: в условиях трещиноватопористых коллекторов фильтрационные потоки формируются неравномерно, и лишь при оптимальной промывке обеспечивается достижение устойчивого фронта вытеснения нефти.

Следовательно, коэффициент промывки выступает интегральным параметром, характеризующим комплекс геолого-физических и технологических условий – от трещиноватости и пористости до режима закачки воды.

Полученные зависимости позволяют проводить более точные инженерные расчёты технологических показателей при проектировании систем заводнения, включая выбор оптимального режима нагнетания, регулирование давления и оценку равномерности вытеснения.

Кроме того, модели дают возможность количественно оценивать эффективность работы нагнетательных систем и прогнозировать динамику добычи нефти на поздних стадиях разработки [11; с.38-45, 12; с.1210-1224]. Это обеспечивает снижение неопределённости при проектировании и оптимизацию затрат на поддержание пластового давления.

Таким образом, результаты дисперсионного анализа подтверждают, что управление коэффициентом промывки пласта является ключевым инструментом повышения нефтеотдачи в карбонатных коллекторах, особенно в условиях двойной пористости и высокой неоднородности фильтрационного пространства.

Анализ дисперсии выявил, что коэффициент промывки пласта оказывает доминирующее влияние (до 80%) на результат вытеснения нефти водой [10; с. 62-69].

Полученные зависимости (1,2) позволяют проводить более точные расчёты технологических показателей при проектировании

заводнения, оценивать эффективность работы нагнетательных систем и прогнозировать динамику добычи нефти [11; с. 38-45, 12; с. 1210-1224].

Перспективным направлением является интеграция многофакторных моделей КВНВ в цифровые геолого-технологические системы управления месторождениями [13; с. 77-84], разработка адаптивных алгоритмов ППД, а также учёт геомеханических и термодинамических факторов, влияющих на изменение фильтрационных свойств [14; с.312].

Дальнейшие исследования планируется расширить за счёт новых промысловых данных, включая сложнопостроенные трещиноватые системы [15; с].

Заключение. Предложенные модели оценки коэффициента вытеснения нефти водой обеспечивают более высокую точность прогнозирования и устойчивость расчётов по сравнению с традиционными методами.

Результаты исследования могут быть применены для оптимизации систем ППД, повышения нефтеотдачи пластов и снижения неопределённости при проектировании разработки карбонатных месторождений.


Внедрение разработанной методики способствует повышению энергетической эффективности и экологической устойчивости нефтегазового производства

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Агзамов, А. Х., Султонов, Н. Н., Жураев, Э. И., & Асадова, Х. Б. (2024). Оценка степени влияния геологических и технологических факторов... Цифровые технологии в промышленности, 2(4), 116–124.
- [2] Асадова, Х. Б., & Султонов, Н. Н. (2021). Применение современных методов интенсификации добычи углеводородов. International Engineering Journal, 6(6), 1–3.
- [3] Султонов, Н. Н. (2024). Многофакторный анализ коэффициента вытеснения нефти водой. Нефтяное хозяйство, (3), 45–49.
- [4] Султонов, Н. Н. (2025). Влияние типа карбонатных коллекторов... (Дисс. PhD). Ташкент.
- [5] Ahmed, T., & McKinney, P. (2019). Advanced reservoir engineering. Gulf Professional Publishing.
- [6] Craft, B., & Hawkins, M. (2020). Applied petroleum reservoir engineering. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- [7] Kazemi, H., et al. (2018). Fluid flow in fractured porous media. SPE Journal, 23(4), 1012–1024.
- [8] Li, K., & Firoozabadi, A. (2021). Modeling of two-phase flow in fractured systems. Journal of Petroleum Science and Engineering, 197, 108–115.
- [9] Yortsos, Y. C. (2020). Displacement processes in naturally fractured reservoirs. Advances in Water Resources.

- [10] Трушина, И., & Ганиев, Р. (2023). Многофакторный анализ фильтрационно-ёмкостных свойств карбонатных коллекторов. Геология нефти и газа, (4), 62–69.
- [11] Назаров, Б., & Муртазаев, А. (2022). Анализ влияния неоднородности на КИН. Вестник нефтегазовой науки, (6), 38–45.
- [12] Xu, T., & Zhang, D. (2022). Multiphase flow behavior in dual-porosity reservoirs. Energy Reports, 8, 1210–1224.
- [13] Кожанов, В. Г. (2021). Оптимизация систем ППД для карбонатных месторождений. Проблемы нефти и газа, (2), 77–84.
- [14] Локшин, В. А., & Дьячков, С. И. (2022). Цифровое моделирование процессов заводнения. Москва: Недра.
- [15] Society of Petroleum Engineers. (2023). SPE Technical Paper 204115: Improving waterflooding efficiency in fractured reservoirs.

УДК: 622.24.05

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.22

АНАЛИЗ ОСЛОЖНЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ В КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ СКВАЖИН



**Эшмуродов Отабек
Ражабович**

Каршинский государственный
технический университет,
старший преподаватель, PhD,
Карши, Узбекистан
E-mail: otabek-e87@mail.ru



**Санетуллаев Эрназар
Есбосынович**

Доцент Каракалтакского
государственного университета
имени Бердаха, (PhD),
Нукус, Узбекистан
E-mail: ernazar.91@mail.ru



**Ахмедов Шовдулло
Шухратович**

Доцент Каршинского
государственного технического
университета, (PhD),
Карши, Узбекистан
E-mail: axmedov1127@mail.ru



**Рузманов Фарход
Исmoilович**

Инженер-технолог по
укреплению скважин, ООО
«Косонская
нефтегазоразведочная
экспедиция», Карши, Узбекистан
E-mail:
ruzmanov_farhod@mail.ru

Аннотация. В условиях увеличения глубин и сложности капитального ремонта скважин, особенно при вскрытии второго ствола в условиях аномально низкого пластового давления (АНПД), возрастает риск возникновения осложнений — поглощений, прихватов, загрязнения продуктивного пласта. В работе рассмотрены причины данных осложнений и предложены подходы к их предупреждению за счёт применения облегчённых промывочных жидкостей с многофункциональными добавками. Проведён анализ эксплуатационных показателей и технико-экономических эффектов. Показано, что модифицированные системы позволяют снизить аварийность, повысить эффективность капитального ремонта и сохранить коллекторские свойства пласта.

Ключевые слова: капитальный ремонт скважин, геолого-технические осложнения, облегчённые промывочные жидкости, глинистая промывочная система, смазочные свойства, прихваты буровых колон, поглощение, модифицированные защитные слои, снижение аварийности.

QUDUQLARNI KAPITAL TA'MIRLASHDA YUVISH SUYUQLIGI

ASORATLARINI TAHLIL QILISH

**Eshmurodov Otabek
Rajabovich**

Qarshi davlat texnika univesiteti,
katta o'qituvchisi, PhD,
Qarshi, O'zbekiston

**Sanetullayev Yernazar
Yesbosynovich**

Berdaq nomidagi Qoraqalpoq
davlat universiteti dotsenti, (PhD),
Nukus, O'zbekiston

**Ahmedov Shovdullo
Shuxratovich**

Qarshi davlat texnika univesiteti
dotsent, (PhD), Qarshi, O'zbekiston

**Ruzmanov Farhod
Ismoilovich**

"Koson neft va gaz qidiruv
ekspeditsiyasi" MChJ quduqlarini
mustahkamlash muhandis-
texnolog, Qarshi, O'zbekiston

Аннотация. Чуқурликнинг ошishi va quduqlarni kapital ta'mirlashning murakkabligi sharoitida, ayniqsa, anomal past qatlam bosimi (ANPB) sharoitida ikkinchi stvolni ochishda, asoratlar - yutilishlar, tutilishlar, mahsuldor qatlamning ifloslanishi xavfi ortadi. Ishda ushbu asoratlarning sabablari ko'rib chiqilgan va ko'p funksiyali qo'shimchalar bilan yengillashtirilgan yuvish suyuqliklarini qo'llash orqali ularning oldini olish yondashuvlari taklif etilgan. Ekspluatatsion ko'rsatkichlar va texnik-iqtisodiy samaralar tahlili o'tkazilgan. Modifikatsiyalangan tizimlar avariyaaviylikni kamaytirish, kapital ta'mirlash samaradorligini oshirish va qatlamning kollektorlik xususiyatlarini saqlab qolish imkonini

berishi ko'rsatilgan.

Kalit so'zlar: quduqlarni kapital ta'mirlash, geologik-texnik murakkabliklar, yengillashtirilgan yuvish suyuqliklari, gilli yuvish tizimi, moylash xususiyatlari, burg'ilash quvurlarini tutish, yutilish, modifikatsiyalangan himoya qatlamlari, avariya holatini kamaytirish.

ANALYSIS OF WASHING LIQUID ASSOCIATIONS IN WELL REPAIRS

**Eshmurodov Otabek
Radjabovich**

Karshi State Technical University,
Senior Lecturer, PhD,
Karshi, Uzbekistan

**Sanetullaev Yernazar
Yesbosynovich**

Associate Professor (PhD) of
Berdakh Karakalpak State
University, Nukus, Uzbekistan

**Akhmedov Shovdullo
Shukhratovich**

Associate Professor, (PhD), Karshi
State Technical University,
Karshi, Uzbekistan

**Ruzmanov Farkhod
Ismailovich**

Well Strengthening Engineer-
Technologist of Koson Oil and Gas
Exploration Expedition LLC,
Karshi, Uzbekistan

Abstract. Under conditions of increasing depth and complexity of well overhaul, especially during the opening of the second wellbore under conditions of abnormally low reservoir pressure (APDC), the risk of complications arising - absorption, seizure, and contamination of the productive reservoir - increases. The work examines the causes of these complications and proposes approaches to preventing them by using lighter washing fluids with multifunctional additives. Analysis of operational indicators and technical and economic effects was carried out. It has been shown that modified systems can reduce accidents, increase the efficiency of major repairs, and preserve the reservoir's reservoir properties.

Keywords: capital repair of wells, geological and technical complications, lighter washing fluids, clay washing system, lubricating properties, drill string seizures, absorption, modified protective layers, reduction of accidents.

Введение. Исследована существующие промывочная жидкость целесообразность применения которой в капитальном ремонте глубоких нефтяных и газовых скважин направлено на совершенствование условий проводимого ремонта путем применения высокоэффективных промывочных жидкостей сокращающих сроки ремонта за счет снижения прихвата опасности, катастрофического поглощения, загрязнения продуктивного пласта, износа вращающихся частей инструментов и др.

Смазочные свойства промывочной жидкости в капитальном ремонте скважин проявляется прежде всего на работоспособности породоразрушающего инструмента непосредственно влияющего на технико-экономические показатели капитального ремонта (при бурении второго ствола скважины, многоствольного бурения, горизонтального ствола скважины), забойных двигателей (при бурении второго ствола, многоствольного бурения, горизонтальный ствол скважины), долговечность бурильной колонны, НКТ а также поглощения промывочной жидкости и т.д. Исходя из этого возникает необходимость применения в капитальном ремонте скважин промывочную

жидкость с высокой смазывающей способностью путем введения в неё необходимых материалов повышающих её смазывающие свойства, проблема его получения до настоящего времени существует и требует дальнейшего решения. В современных условиях эксплуатации нефтяных и газовых месторождений одной из актуальных задач является обеспечение технологической надёжности капитального ремонта скважин, особенно при вскрытии второго ствола в условиях аномально низкого пластового давления (АНПД). Осложнения, возникающие в таких условиях, включают интенсивные поглощения промывочной жидкости, прихваты бурильной колонны, гидроразрывы, а также загрязнение продуктивного пласта. Эти осложнения существенно повышают затраты на ремонт и снижают эффективность дальнейшей эксплуатации скважин [1]. Как указывают Басарыгин Ю.М. и соавт., наибольшую долю в структуре аварийности занимают поглощения и прихваты, обусловленные несоответствием свойств промывочной жидкости геолого-физическим условиям пласта [2]. Для их предупреждения рекомендуется применять облегчённые про-

мывочные жидкости с пониженной плотностью, высокой смазочностью и способностью к стабилизации стенок скважин. Лихущин А.М. подчёркивает эффективность гидродинамических методов стабилизации скважинных стенок и снижения пластового давления в зоне бурения. Он отмечает, что правильно подобранные режимы промывки и химический состав жидкости значительно снижают вероятность осложнений [4]. Согласно исследованиям Сингурова А.А., успешное вскрытие второго ствола в АНПД возможно только при использовании высокоадаптивных промывочных систем, обладающих многофункциональностью, включая регулирование рН, вязкости, фильтрационной водоотдачи и создание тонкой малопроницаемой корки на стенках скважин [3]. Большое внимание в литературе уделяется роли химических реагентов и загустителей, повышающих термостойкость и смазочные свойства промывочной жидкости. Такие компоненты позволяют снизить коэффициент трения между бурильной колонной и стенками скважины, что особенно важно при капитальном ремонте в искривлённых и горизонтальных участках ствола [6]. Обобщая результаты, представленные Шарафутдиновой Р.З. и Ишбаевым Г.Г., можно сделать вывод о целесообразности перехода от традиционных глинистых растворов к безглинистым облегчённым системам, особенно при бурении в сложных геологических условиях и наличии АНПД [5].

Анализ и результаты. Таким образом, анализ источников подтверждает, что применение облегчённых промывочных жидкостей с многофункциональными добавками является эффективным решением для предупреждения осложнений при капитальном ремонте скважин, особенно в условиях вскрытия второго ствола при низком пластовом давлении.

Проведена анализ осложнений, связанных с необходимостью проведения капитального ремонта скважин. Необходимость разработки промывочной жидкости для капитального ремонта глубоких нефтяных и газовых скважин связано с улучшением разработки более высокоэффективных промывочной жидкости, сокращающих сроке проведения ремонта за счет снижения прихват опасности, катастрофичес-

кого поглощения, Загрязнения продуктивного пласта при бурении второго и горизонтального стволов, износе вращающихся инструментов и др.

Эту задачу можно решить путем создания более высокоэффективных промывочной жидкости повышающихся техники-экономические показатели капитального ремонта скважин.

Исследованиями установлено, что при применении промывочных жидкостей с высокими смазывающими свойствами снижается прихват опасность в процессе бурения второго и горизонтальных стволов.

Кроме того, установлено что из года в год глубина скважин, подлежащих к капитальному ремонту, увеличивается.

Исходя из этого, прихват опасность бурильных и обсадных колонн повышается (при бурении второго ствола под хвостовик и если второй ствол скважины обсаживается обсадной колонной).

В результате с увеличением глубины скважин прихваты бурильных и обсадных колонн увеличивается. Некоторые прихваты приводят к очень большим затратам времени и средства для их освобождения. Причем бывает такие прихваты, из-за безрезультатности их ликвидации, ликвидируются сама скважина.

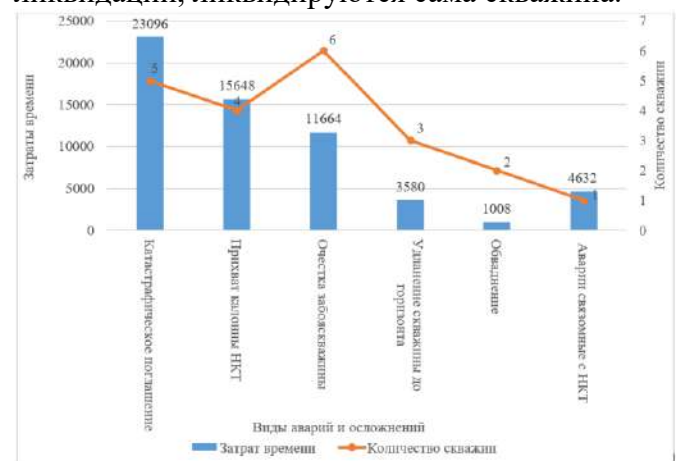


Рис.1. Затраты времени на ликвидацию аварий и осложнений в шуртанском нефтегазодобывающем управлении.

Кроме того, возникает необходимость при проведении работ по ликвидации поглощений, извлечение НКТ, сужений, обвалов, углублении скважины, и др. которые требует промывочную

жидкость с высокими смазочными свойствами [7].

Приведённые данные свидетельствуют о решающей роли работ, выполненных при бурении второго — горизонтального — ствола, в снижении прихватоопасности бурильных и обсадных колонн, а также других операций, проводимых в рамках капитального ремонта скважины. Представлен анализ временных затрат, количества скважин и характера аварийно-осложнённых ситуаций на месторождениях АО «Шуртанское нефтегазодобывающее управление».

При анализе осложнений, возникающих на объектах АО «Узбекнефтегаз» за период с 2010 по 2022 год, установлено, что основная часть геологических осложнений приходится на долю поглощения, рапопроявления, осыпей и обвалов с последующим прихватом бурильной колонны.

Анализ осложнений, связанных с необходимостью проведения капитального ремонта скважин. Необходимость разработки промывочной жидкости для капитального ремонта глубоких нефтяных и газовых скважин связано с улучшением разработки более высокоэффективных промывочной жидкости, сокращающих сроке проведения ремонта за счет снижения прихват опасности, катастрофического поглощения, Загрязнения продуктивного пласта при бурении второго и горизонтального стволов, износе вращающихся инструментов и др.

Необходимость разработки промывочных жидкостей, специально предназначенных для капитального ремонта глубоких нефтяных и газовых скважин, обусловлена требованиями к повышению эффективности и надёжности ремонтных работ. Ключевыми задачами являются снижение вероятности прихватов бурильной колонны, предотвращение катастрофических поглощений, минимизация загрязнения продуктивного пласта при бурении второго и горизонтального стволов, а также снижение износа вращающегося инструмента.

Решение данных задач возможно за счёт создания высокоэффективных промывочных жидкостей с улучшенными реологическими, фильтрационными и смазывающими свойствами, способных повысить технико-

экономические показатели капитального ремонта.

На рисунке 1 представлены данные по затратам на ликвидацию различных видов осложнений, где наибольшие потери приходится на устранение катастрофических поглощений, что подтверждает актуальность разработки специальных промывочных систем для работы в осложнённых геолого-технических условиях. Эту задачу можно решить путем создания более высокоэффективных промывочной жидкости повышающих техники-экономических показатели капитального ремонта скважин.

Выводы и рекомендации. Анализ осложнений, возникающих при капитальном ремонте скважин, показал, что наибольшую долю проблем составляют катастрофические поглощения, прихваты бурильной колонны и загрязнение продуктивного пласта. Эти осложнения существенно увеличивают продолжительность ремонтных работ, повышают эксплуатационные затраты и снижают общую эффективность освоения месторождений.

Основной причиной возникновения осложнений является несоответствие свойств применяемых промывочных жидкостей сложным геолого-техническим условиям. Традиционные глинистые растворы зачастую не обеспечивают необходимой стабилизации стенок скважины, защиты продуктивного пласта и эффективного выноса шлама, что приводит к росту аварийности и снижению качества ремонтно-восстановительных работ.

Рекомендуется разработка и внедрение облегчённых безглинистых промывочных систем с multifunctionальными добавками, обладающих высокими смазочными, ингибирующими и термостойкими свойствами. Применение таких систем позволит повысить надёжность проведения капитального ремонта, снизить вероятность осложнений и аварий, а также уменьшить технико-экономические потери при бурении второго и горизонтального стволов.

Дополнительно установлено, что интеграция современных цифровых методов контроля параметров бурового раствора и оперативного мониторинга состояния скважины способна значительно повысить эффективность

принятия технологических решений. | ремонт, повышения безопасности работ и
Использование автоматизированных систем | устойчивого увеличения межремонтного
анализа данных и прогнозирования осложнений | периода эксплуатации скважин.
создаёт предпосылки для оптимизации режимов

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Эшмуродов, О. Р., Санетуллаев, Е. Е., Темиров, К. М., & Умедов, Ш. Х. (2022, 25 февраля). Влияние добавок на устойчивость глинистых пород и кинетику фильтрации промывочного раствора. В Сборнике материалов XIV международных научных Надировских чтений «Яркий пример преемственности научных традиций и верности профессии» (с. 84–89). Атырау, Казахстан.
- [2] Басарыгин, Ю. М., Булатов, А. И., & Проселков, Ю. М. (2012). Осложнения и аварии при эксплуатации и ремонте скважин. Тюмень: ТюмГНГУ.
- [3] Сингуров, А. А. (2022). Научное обоснование технологий капитального ремонта скважин при разработке газовых и газоконденсатных месторождений в условиях падающей добычи (Дис. д-ра техн. наук). Москва.
- [4] Лихушин, А. М. (2012). Гидродинамические методы предупреждения осложнений при бурении и цементировании скважин в неустойчивых породах (Дис. д-ра техн. наук). Москва.
- [5] Шарафутдинова, Р. З., & Ишбаев, Г. Г. (2012). Буровые растворы для строительства скважин в глинистых горных породах. Москва: ОАО «ВНИИОЭНГ».
- [6] Эшмуродов, О. Р., Комилов, Т. О., Рузманов, Ф. И., & Ахмедов, Ш. Ш. (2025). Определение смазывающих свойств промывочной жидкости, используемой в капитальном ремонте скважин. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 3(2), 156–160.

UO‘K: 669.14:622.276(075.8)

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.17

KONLARDA NEFT VA GAZ MAHSULOTLARINI YIG‘ISH, TASHISH VA SAQLASHDA QO‘LLANILADIGAN JIHOZLARNI VA USKUNALARNI KORROZIYADAN HIMOYA QILISH USULLARI VA VOSITALARINI TANLASH



**Dustqobilov Eldor
Nurmatovich**

Dotsent, Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O‘zbekiston



**Yuldashev Tashmurza
Raxmonovich**

Professor, Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O‘zbekiston



**Djumabayev Alijon
Bakishyevich**

Professor, Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada neft-gaz sanoatida mahsulotni saqlash uchun foydalaniladigan quvurlar va rezervuarlarning korroziyasi bo‘yicha ilmiy asoslar, korroziya muhitlarining turlari va ularning salbiy ta‘siri, shuningdek, bu muhitlarning yuzaga kelish sabablari tahlil qilinadi. Ilmiy tadqiqotlarning asosiy maqsadi – neft va gaz konlarida mahsulotni dastlabki tozalash va uni qayta ishlashga tayyorlash jarayonida yuqori agressiv muhitlarni yaratishdir. Hozirgi vaqtda metall konstruksiyalar va uskunalarni himoya qilish bo‘yicha zamonaviy texnologiyalarga asoslangan geterokompozit polimer mahsulotlarini o‘rganish va ularni sanoat tarmoqlarida qo‘llash zaruriyati ortib bormoqda. Suyultirilgan gazlarning nafaqat neft mahsulotlarida, balki hozirda qazib olinayotgan tabiiy gaz tarkibida ham ko‘payib borayotgani ushbu sohadagi metall uskunalarni korroziyadan himoya qilish va ularning xizmat muddatini uzaytirishda jiddiy muammo bo‘lib qolmoqda.

Kalit so‘zlar: gidroabrazivlik, ingibitor, polimer, konstruksiya, termoreaktiv, termoplastik, smolalar, fenol, novolak, neylon, uretan, geterokompozit.

ВЫБОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ

ОБОРУДОВАНИЯ И АППАРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ СБОРЕ, ТРАНСПОРТИРОВКЕ И ХРАНЕНИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ ПРОДУКТОВ НА ПРОМЫСЛАХ

**Дустқобилов Эльдор
Нурмамаевич**

Доцент, Каршинский
государственный технический
университет, Карши, Узбекистан

**Юлдашев Ташмурза
Рахмонович**

Профессор, Каршинский
государственный технический
университет,
Карши, Узбекистан

**Джумабаев Алижон
Бакышевич**

Профессор, Каршинский
государственный технический
университет,
Карши, Узбекистан

Аннотация. В статье рассматриваются научные основы коррозии трубопроводов и резервуаров, используемых для хранения продукции в нефтегазовой промышленности, виды коррозионных сред и их негативное воздействие, а также причины их возникновения. Основной целью научных исследований является первичная очистка продукции на нефтяных и газовых мес-

торождениях и создание для нее особо агрессивных сред перед подготовкой ее к переработке. В настоящее время изучение гетерокомполитных полимерных изделий на основе современных технологий защиты металлических конструкций и оборудования и их применение в промышленных отраслях диктует необходимость разработки таких изделий. Растущее содержание сжигенных газов не только в нефтепродуктах, но и в добываемых сегодня природных газах представляет серьезную проблему для защиты металлического оборудования в этой отрасли и продления срока его службы.

Ключевые слова: гидроабразивность, ингибитор, полимер, конструкция, терморективный, термопластичный, смолы, фенольные, новолачные, нейлоновые, уретановые, гетерокомполитные.

SELECTION OF METHODS AND MEANS OF PROTECTION FROM CORROSION OF EQUIPMENT AND EQUIPMENT USED IN COLLECTION, TRANSPORTATION AND STORAGE OF OIL AND GAS PRODUCTS IN FIELDS

**Dustkobilov Eldor
Nurmamatovich**

*Docent, Karshi State Technical
University, Karshi, Uzbekistan*

**Yuldashev Tashmurza
Rakhmonovich**

*Professor, Karshi State Technical
University, Karshi, Uzbekistan*

**Djumbabayev Alijon
Bakishyevich**

*Professor, Karshi State Technical
University, Karshi, Uzbekistan*

Abstract. *The article examines the scientific basis of corrosion of pipelines and tanks used for storing products in the oil and gas industry, types of corrosive environments and their negative impact, as well as the reasons for their occurrence. The main objective of scientific research is the primary purification of products at oil and gas fields and the creation of particularly aggressive environments for them before preparing them for processing. Currently, the study of heterocomposite polymer products based on modern technologies for protecting metal structures and equipment and their application in industrial sectors dictates the need to develop such products. The growing content of liquefied gases not only in petroleum products but also in natural gases produced today poses a serious problem for the protection of metal equipment in this industry and the extension of its service life.*

Keywords: *hydroabrasiveness, inhibitor, polymer, design, thermosetting, thermoplastic, resins, phenolic, novolac, nylon, urethane, heterocomposite.*

Kirish. Konlarda neft va gaz tabiiy resurslarini ishlab chiqarishning oshib borish sur'ati ularni yig'ish, saqlash va tashish uchun uskunalarning ekspluatatsion ishonchligini ta'minlashni talab qiladi. Ma'lumki neftning va gazning tarkibida zaxarli komponentlarning mavjudligi, mexanik zarralarning oqimi, xlorli tuzlar va ularning birikmalarining mavjudligi quvuruzatmalarda va saqlash rezervuarlarida korroziya muhitini keltirib chiqarish bilan birgalikda har xil tarkibli cho'kmalarni hosil qiladi. Bundan tashqari neft va gaz uzatmalari orqali harakatlanganda gidroabrazivlik holatlarini keltirib chiqaradi. Agar uglevodorod xomashyosi tarkibida kimyoviy faol birikmalar va mexanik qo'shimchalar

mavjudligini hisobga oladigan bo'lsak, u holda asbob-uskunalarni ushbu omillar ta'siridan himoya qilish birinchi darajali muammo bo'lib, bu muqarrar ravishda metall konstruktsiyalarning korroziya va gidroabraziv ta'sirida ishdan chiqishiga olib keladi.

Neft va gazni kon sharoitida birlamchi tayyorlashda, qayta ishlash zavodlarida asbob-uskunalarni ishlatishda turli xil korroziya shikastlanishlarni keltirib chiqaradi, ularni o'rganish va ularni oldini olish usullari ko'plab olimlarning tadqiqot ishlarida o'rganilgan [1, 2, 4,7].

Tadqiqotning maqsadi. Qo'yidagi ishlarda [3] neft va gaz quduqlarini ishlatish jarayonida mexanik xususiyatlarni yo'qotish natijasida yuzaga

keladigan, haroratning o'zgarishi va bosimning o'zgarishi natijasida uskunaning to'liq ishdan chiqishiga olib keladigan materiallarning nobud bo'lishi muammolari ko'rib chiqiladi, ularning fizik-mexanik xususiyatlarini o'rganish asosida materiallarni tanlash orqali hal qilinishi mumkin. Bular oldindan belgilangan, yuqori kuch va fizik-mexanik xususiyatlarga ega bo'lgan materiallar bo'lib, ishqalanish, egilish, bosim, issiqlik va olovga chidamli, ya'ni neft ishlab chiqarish uskunalari uchun operatsion talablarni qondiradigan barcha xususiyatlarga ega.

Tadqiqot usullari. Mualliflar korroziyaga qarshi himoya choralarini quyidagicha tasniflagan:

1. Tegishli materiallarni tanlash.
2. Ingibitorlardan foydalanish.
3. Himoya qoplamalaridan foydalanish.
4. Korroziyani yetarli darajada nazorat qilish va tekshirish.
5. Katodik himoya qilish texnikasi.

Korroziv vayron bo'lishi atrof-muhit bilan o'zaro ta'sir qilish jarayonida yuzaga keladigan kimyoviy yoki fizik-kimyoviy hodisalar natijasida yuzaga keladi, ular atmosfera kislorodi, texnologik jarayonlarda ishtirok etadigan kislotalar, yoqilg'i yonish mahsulotlari va boshqalarni o'z ichiga olishi mumkin. Metallarning atrof-muhitning korroziya ta'siriga kimyoviy faolligi ularning faoliyat qatoridagi vodorodga nisbatan joylashishi bilan belgilanadi.

Agar gaz kondensati quvurlar orqali tashilgan bo'lsa, jarayon xuddi shu mexanizmga muvofiq davom etadi. Bunday holda, atrof-muhitning tarkibi suv, gaz kondensati va gazdan iborat bo'ladi, lekin ikkala holatda ham mexanik aralashmalar mavjudligini hisobga olish kerak, bu esa neft va gaz mahsulotlarini yig'ish, saqlash va tashish uchun uskunalarning materialining eskirishiga olib keladi. Ushbu tizimlarda korroziya ingibitorlarini qo'llash ingibitorlarning yuqori narxi va ularning texnologiyasi kabi kamchiliklarga ega. Har doim ham mavjud bo'lmagan va amalga oshirish mumkin bo'lmagan barcha texnik va texnologik talablarga qat'iy rioya qilingan taqdirdagina samarali bo'ladi.

Polimer materiallar bir qator afzalliklarga ega - bu materialning korroziyaga chidamliligi, yengilligi, suyuqlik bilan aloqa qilish yuzasining silliqdigi, mavjudligi, arzonligi va materialning past yopishqoqligi, bu esa ish unumdorligini oshirish

imkonini beradi. 5%, materiallar orasidagi potentsial farqni hosil qilmaydi.

Metall konstruksiyalar uchun himoya qoplamalar sifatida polimer materiallar ham jismoniy usullarga tegishli.

Qo'llaniladigan qoplamalar termoset oligomerlari va metallga yaxshi yopishtiruvchi xususiyatlarga ega termoplastik polimerlarga asoslangan kompozitsiyalardir. Bular epoksi qatronlar, fenolik qatronlar, epoksidir fenolik qatronlar, novolak qatronlar, neylon, uretan va polietilen.

Metall konstruksiyalarni korroziyaga qarshi turli qoplamalarni qo'llash orqali xizmat muddati va ekspluatatsion xususiyatlarini uzaytirish juda foydali va samarali [4, 5, 6]. Qoplamaning himoya qilish mexanizmini uchtaga bo'lish mumkin, ya'ni; substrat materiallari va atrof-muhit o'rtasida to'siq yaratish, korroziya jarayonlarini bartaraf qilish va qurbonlik materiallari sifatida ishlaydigan qoplamalar. Biroq, yaqinda eng yangi yondashuvlardan biri "faol-passiv" deb ataladi. U korroziy moddalarning metall yuzasiga (passiv) kirib borishiga yo'l qo'ymaydigan to'siq qatlamlari (faol) vazifasini bajaradigan qoplamaning o'z ichiga oladi.

Tadqiqot natijalarining muhokamasi. Tadqiqotlarni ko'rib chiqish tahlili bizga geterokompozitlardan ishlab chiqilgan kompozitsiyalarni neft-gaz majmuasi tuzilmalari va uskunalari uchun qoplamalar va materiallar sifatida qo'llashni aniqlash imkonini beradi, shu bilan birga termoset plastik va termoplastik (PE) asosidagi kompozitsiyalarni kompleks qo'llash haqida savol tug'iladi.

Shu munosabat bilan tadqiqotning maqsadi metall-polimer tizimlarida oligomer-polimer-to'ldiruvchining fazalararo mintaqalarida yuzaga keladigan struktura hosil bo'lishining nazariy asoslarini va hodisalarni o'rganish asosida geterokompozit materiallardan foydalanishning ilmiy-texnologik tamoyillarini ishlab chiqishdan iborat edi.

Korroziyalanish jarayonlarining klassifikatsiyalari. Korroziya jarayonini va korroziyalilik muhitining fizik-mexanik tavsiflari va mexanizmlarini borishi ikkita katta kimyoviy va elektrokimyoviy jarayonlar bilan sinflanadi.

Metallning korroziyasi - bu jarayon ixtiyoriy holatda oksidlanish bo'lib, atrof muhitning ta'siri

ostida metallni parchalanishga olib keladi. Metallarning korroziyalanishining asosiy sabablari oddiy sharoitlarda ularni oddiy sharoitlarda termikdinamik nobarqarorligidir. Metallar tabiiy sharoitlarda (qulay sharoitlarni istisno qilganda) kimyoviy birikmalar ko‘rinishida bo‘ladi (rudalar) va ular uchun bog‘langan holati energetik foydali hisoblanadi.

Korroziyalanishning ehtimolligi va metallni oksidlanishga moyilligi aniq sharoitlarda ularni termikdinamik nobarqarorlik darajasiga bog‘liqligi ya’ni, ushbu jarayonning (Gibbs energiyasi) ΔG ning termikdinamik potensialining o‘zgarish kattaligidir. Kimyoviy va elektrokimyoviy reaksiyalarni borilishida termikdinamik potensial ($\Delta G > 0$) oshadi, ixtiyoriy jarayonni sodir bo‘lish ehtimoli mumkin emas agar, ($\Delta G < 0$) bo‘lsa, unda ixtiyoriy jarayonni sodir bo‘lish ehtimolini bo‘lib o‘tishi mumkin (1-rasm).



1-rasm. Metallarning korroziyasi.

Metallni korroziya muhiti bilan o‘zaro ta’sirlanish jarayonining geteregoni bo‘linmalarining fazasi chegarasida bo‘lib o‘tishi murakkab mexanizmga ega bo‘ladi.

Metallning tashqi muhit bilan kimyoviy va elektrokimyoviy korroziyasi o‘zaro ta’sir qilish mexanizmlari bo‘yicha farq qiladi.

Kimyoviy korroziya – bu metallarni suyuq elektrolitlarda yoki quruq gazlarda yuqori haroratlarda parchalanish jarayoni kabi boradi. Shuning uchun biz tadqiqotlarimizda tabiiy gazlarni nordon komponentlardan tozalash jarayonini borishi aminlar bilan absorbsiyalanish jarayonini borishi suyuqlik muhitida past haroratda borsa, desorbsiya jarayoni esa yuqori haroratda boradi va regeneratsiya jarayoni esa issiqlik almashinish holatida borganda issiqlik almashinish apparatlarida korroziya muhitini yaratadi hamda issiqlikga chidamli bo‘lgan tuzlarning shakllanishi quvuruzatmalarni ichki sirt yuzalaridan quvurlarni va apparatlarni korrozion yemirishni boshlaydi. Bu

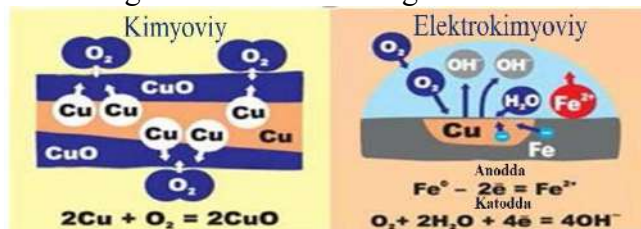
yerda metallni agressif muhit bilan geterogenli korrozion o‘zaro ta’siri kimyoviy reaksiyalarni borishi qonuniyatiga bo‘ysunadi va elektr toki paydo bo‘lishi bilan kuzatilmaydi. Bunday uchastkalarda korroziya mahsulotlari to‘g‘ridan-to‘g‘ri metallni kontakt uchastkalarida agressiv muhit bilan kontaktida shakllanadi.



2-rasm. Korroziyali parchalanishning klassifikatsiyasi.

Uglevodorod xomashyolarini qazib olishga, uzoq masofalarga tashishiga va saqlashga mo‘ljallangan quvuruzatmalar va metall jihozlari tartibga muvofiq kimyoviy korroziyaga duchor qilinmagan. Asosan ular elektrokimyoviy korroziyalanish natijasida shikastlanadi (2-rasm).

Elektrokimyoviy korroziya – bu metallarni shikastlanishi asosan geterogen elektrokimyoviy reaksiyasi natijasida sodir bo‘ladi. Elektrokimyoviy korroziya bilan bir vaqtda ikkita jarayon – oksidlanish (anodli) jarayoni boradi, u esa metallning bir uchastkasida erishni chaqiradi va tiklanish (katodli) bu esa eritmadan kationni ajralib chiqishi bilan bog‘langan, kislorodni tiklanishi va boshqa oksidlanishlar bilan bog‘langandir (3-rasm). Natijada mikrogalvanik elementlarni paydo bo‘lishi va elektr tokini paydo bo‘lishi bilan kuzatiladi, bu metallni elektr o‘tkazuvchanligi va korroziya muhitining ionli o‘tkazuvchanligi bilan tavsiflanadi.

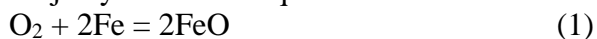


3-rasm. Kimyoviy va elektrokimyoviy korroziya.

Gazli korroziya – qoidaga muvofiq yuqori haroratlarda ya’ni regeneratsiya jarayonida metallni kislorodli muhit bilan o‘zaro ta’sirlanishi natijasida,

metallning yuzasida namlik mavjud bo'lganda va oksidlarni shakllanishi bilan kuzatiladi, okalin va po'latni uglerodsizlanishi (masalan o'choqlarni korroziyasi, yonish kameralarida va gaz turbinalarining issiqlik traktlarida, kompressorlarning detallarida va ichki yonuv dvigatellarida sodir bo'ladi).

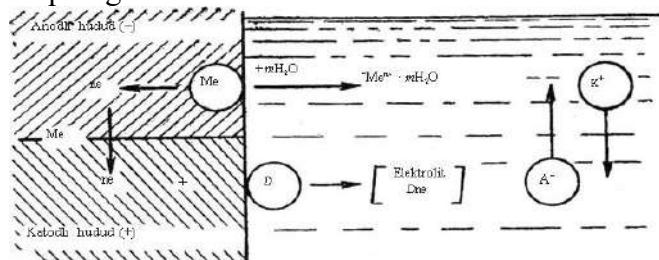
Kimyoviy korroziya – metallning korroziya muhiti bilan o'zaro ta'sirlarida metallning oksidlanishi va oksidlanish komponentlarini tiklanish jarayonlari bir vaqtda boradi:



Bunday korroziyalanish gazli va neftli muhitlarda kuzatiladi hamda organik suyuqliklar hisoblanadi.

Elektrokimyoviy korroziyani kimyoviy korroziyadan prinsipal farqlari jarayon bir nechta aktlarda bo'lib o'tadi: metall atomlarining ionlanishi ya'ni elektronlarning ko'chishi va oksidlanish komponentlarining tiklanishi, bunda ionlanish tezligi va ularning tiklanishi metallning potensialiga bog'liq bo'ladi. Jarayon katodlar va anodlar uchastkalarining korroziyalashi sirtlarida tokning oqish jarayonini bilan kuzatiladi (4-rasm). Bunday korroziya mexanizmi elektrolitlarning eritmalarida, qo'yimlarida, atmosfera shariatlarida metallarning korroziyasida, dengiz suvlarida, tuproqlarda va boshqa joylarda amalga oshadi [5, 8].

Ko'pgina holatlarda kimyoviy va elektrokimyoviy korroziyalanish mexanizmlari bir vaqtning o'zida bo'lib o'tadi.



4-rasm. Elektrokimyoviy korroziya jarayonining sxemasi.

Korroziyalanish shikastlanish ko'rinishlari bo'yicha (yoki korroziyalanishning tavsifi bo'yicha parchalanish "korroziyaning geometriyasi") teng o'lchamli (umumiy) va lokal (mahalliy) turlarga bo'linadi.

Korroziyalanish parchalanishning turini to'g'ri aniqlanishi korroziyaning shikastlanishi darajasini

sifati va miqdoriy imkoniyatlarini aniqlash hamda korroziyadan himoyalaniş usullarini to'g'ri tanlash imkoniyatini beradi [9, 10].

Umumiy yoki butunli korroziya metallning butunlay yuzasini shikastlaydi va bir tekis paydo bo'ladi yoki metallning hamma yuzasini korroziya mahsulotlari bilan notekis to'ldiradi (5-rasm, a-v).

Butunlay korroziyaning turlari quyidagicha differensialandi:

- birtekis (5-rasm a);

- notekis (5-rasm, b);

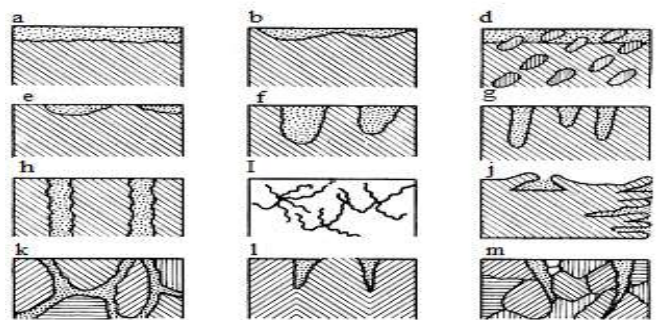
tanlanma (5-rasm, v) bunda korroziya jarayoni qo'ymaning tashkil qiluvchilarining qandaydir joylarida tarqaladi (obessinkali latunlarida, grafitli chuyonlarida va h.).

Mahalliy korroziya metallni alohida uchastkalarga ajratadi va quyidagi turlarga bo'linadi:

- dog'li korroziya (5-rasm, g) - nisbatan alohida katta dog'lar ko'rinishida korroziyalanishlar (masalan, dengiz suvlaridagi korroziya latunlari);

- yarali korroziya (5-rasm, d) - alohida yaralar bo'lib, yerdagi po'lat konstruksiyalarga tavsiflidir;

- nuqtali (pittingli korroziya, inglizcha. ritt - nuqta degani) korroziyalanishlar alohida nuqtalar ko'rinishida bo'ladi (5-rasm, e) va asosiy qismlarini qoplaydi masalan, dengiz suvlaridagi austenli zanglamaydigan po'latlar;



5-rasm. Metallarni asosiy parchalanish turlari.

- Pittingli korroziya yaraning diamterini uning chuqurligiga nisbatlaridan farq qiladi: bu nisbatlar qancha katta bo'lsa, shunchalik yarali parchalanish korroziyasiga yaqin bo'ladi;

- ikki tomonlama ochiq korroziya – yarali yoki nuqtali korroziyalanish parchalanish masalan, teshilgan listli material kabi (5-rasm, j);

- tolasimon korroziya (5-rasm, k) – korroziyalanish xuddi tolasimon tarqalgan holda bo'ladi ya'ni, xuddi lakbuyoqli qoplamlarning

tagidagi metallarning pardalari ko‘rinishida bo‘ladi;

- yuzalardagi korroziya (5-rasm, i) va korroziyalanish jarayonlari sirt yuzasidan boshlanadi keyin esa metall tagi yuzalarida tarqaladi;

- kristallar oralig‘i korroziyasi (5-rasm, k) – korroziya jarayoni metall kristallarining chegaralari bo‘ylab tarqaladi, metallning tashqi ko‘rinishi o‘zgarishdan qolishi mumkin, lekin metallning mustahamligi va qattiqligi keskin pasayadi;

- pichoqsimon korroziya (5-rasm, l) – korroziyali shikastlanishlar alohida joylarda shakllar ko‘rinishida, pichoq bilan kesilgan ovalsimon yo‘laklarni eslatadi ya’ni, ayniqsa bunday holatlar quvur uzatmalarining payvandli choklarida va katta rezervuarlarda paydo bo‘ladi va o‘ta agressiv hisoblanadi (azot kislotasiga chidamli bo‘lgan po‘lat kabi 0X18N10T);

- ko‘p tolasimon yoriqli korroziya (5-rasm, m) - korroziyaning muhim ko‘rinishi bo‘lib, bir vaqtning o‘zida korroziyalanish muhiti va cho‘zuvchi kuchlar ta’sirida bo‘ladi;

Bunda korroziya jarayoni tor yoriqlar ko‘rinishida to‘planadi, xuddi tarqalgansimon yoki kristallar ko‘rinishida yoki transkristallar ko‘rinishida bo‘ladi. Tarqalish zonasidan tashqari korroziya yoriqlari metallning asosiy qismlarida korroziyali parchalanishlar belgilanmaydi. Bu juda xavfli korroziya ko‘rinishida bo‘ladi. Bunday korroziyalarga gazli muhitdagi va neftgaz mahsulotlarni saqlash rezervularidagi hamda quvuruzatmalardagi metalli jihozlar duchor bo‘ladi [3, 5, 6].

Korroziya ko‘rinishidagi muhit va jarayonning bo‘lib o‘tish shartlari bo‘yicha neft va gaz sohasida qo‘llaniladigan jihozlar tajavvurkorlik muhiti bo‘yicha quyidagi turdagi korroziya sinflariga bo‘linadi.

- tabiiy gazni birlamchi zaxarli komponentlardan tozalashda ko‘pincha sanoatda absorbsiya usuli ya’ni, aminli eritmalaridan foydalanilganda suyuqlik muhitida kimyoviy jarayonlarning bo‘lib o‘tishi korroziya muhitini keltirib chiqarishi maqarrardir;

- tabiiy gazlarni nordon komponentlardan tozalashda tabiiy gazga aminli eritmalar birlamchi harorat ta’sirida absorbsiya jarayonining olib borilishi hamda aminlarning tozalash uchun desorbsiya jarayoniga yuqori harorat berilishi metallarni korroziyasini keltirib chiqaradi;

- suyuqlik korroziyasi – eritmalaridagi elektrolitlar kabi xuddi shunday noelektr o‘tkazuvchi suyuqliklar (brom, suyuq yoqilg‘i, erigan oltingugurtli muhit va boshqalar);

- yer osti korroziyasi – ma’lumki, quvuruzatlar ochiq atmosferada turishi bilan birgalikda yer osti kommunikatsiyalarida ham joylashtiriladi;

- vodorodli korroziya yoki korroziyali murtlik – metallarning suvlanishi natijasida mustahkaligini va elastikligini yo‘qotishi (muhitdagi po‘lat, tarkibida vodorod sulfid masalan, xom neftdagi va yuqori tarkibli oltingugurtli muhit);

- tuzilmali korroziya – metall tarkibining tuzilmasi bo‘yicha noyaxlitligi (chuyondagi grafit, karbidlar po‘latlarda xuddi kislotadagi korroziya kabi unda korroziyalanishni kuchaytiradi);

- tashqi tok ta’siridagi korroziya – tashqi toklarning manbalri ta’sirida (masalan, yerga ulangan anodli stansiyaning erishi katodli himoyalarda ta’sirida);

- daydi toklarning korroziyasi – yo‘llar orqali doimiy daydi toklarning o‘tishi, loyida ko‘rilmagan holda. Yer ostidan o‘tgan daydi toklarning ta’sirida gazquvuruzatmalarining kabellar ta’sirida izolyatsiyasining buzilishi va quvuruzatmalarining yo‘nalishida gidravlik tiqinlarning shakllanishi ta’sirida korroziyalanishni keltirib chiqaradi.


- mikrobiologik korroziyali muhitda korroziyalanishi – bakteriyalarning ta’sirida paydo bo‘ladigan mahsulotlarning hisobiga, gribboklarning paydo bo‘lishi natijasida namli tuproqlarda metall konstruksiyalarning korroziyalanishi neftgaz sohasida katta zararlarni keltirib chiqaradi.

Xulosa. Shuning uchun ilmiy tadqiqotning asosiy maqsadi neft va gaz konlarida mahsulotlarni birlamchi tozalash va uni qayta ishlashga tayyorlashdan oldin ulargagi o‘ta agressiv ta’sir qiluvchi zaxarli komponentlarning tozalash jarayonida metall konstruksiyalar salbiy qiladi va ekspluatatsiya muddatini qisqartiradi. Shuning uchun hozirgi kunda metalli konstruksiyalarni va uskunalarni himoya qilishda zamonaviy texnologiyalar asosida geterokompozit polimer mahsulotlarni tadqiq qilish hamda ularni sanoat tarmoqlarida qo‘llashni taqozo qilmoqda.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Ziyamukhamedova, U., Rakhmatov, E., Dustqobilov, E., Nafasov, J., & Ziyamukhamedov, J. (2023, June). Development of protective coating compositions for process tanks. AIP Conference Proceedings, 2789(1). AIP Publishing.
- [2] Dustqobilov, E. N. (2025). OG'IR VA VAKUUMLI GAZOYLNI GIDROTOZALASH JARAYONINI TADQIQI. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 3(2).
- [3] Dustqobilov, E. N. (2024). NEFTNI QAYTA ISHLASHDA GIDROGENIZATSION JARAYONLAR. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 2(02).
- [4] Dustqobilov, E. N., & Jamshidov, D. B. (2024). NEFTNI YIG'ISH, TASHISH VA TAYYORLASH TIZIMI JARAYONINI TADQIQ ETISH. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 2(02).
- [5] Структура и коррозия металлов и сплавов: атлас. (1989). Москва: Металлургия.
- [6] Фомин, Г. С. (1999). Коррозия и защита от коррозии. Энциклопедия международных стандартов. Москва: ИПК Издательство стандартов.
- [7] Юлдашев, Т. Р. (2023). Основа оборудования, используемого в процессе очистки газоабсорбционной технологии. Universum: технические науки, (5–6(110)).
- [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] Юлдашев, Т. Р. (2022). Абсорбенты для очистки природных газов от H₂S и CO₂. Theory and Analytical Aspects of Recent Research, 1(10), 72–74.

UO‘K: 662.6:665.1:(66.095)

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.16

**TABIIY GAZLARNI ALKANOLAMINLI ERITMALARNING
KOMBINASİYALANGAN ABSORBENTLARI YORDAMIDA UGLEROD
DIOKSIDI VA OLTINGUGURTDAN TOZALASH DARAJASINING BOSIM VA
HARORATGA BOG‘LIQLIGINI TADQIQ QILISH**



Yuldashev Tashmurza Raxmanovich

Professor, t.f.d., Qarshi davlat texnika universiteti,
Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: tashmurzayuldashev1959@gmail.com



Turdiyev Shahboz Shermamat o‘g‘li

Dotsent, t.f.d., Qarshi davlat texnika universiteti,
Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: shahboz_01011991@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-4116-9799

Annotatsiya. Tabiiy gazning nordon komponentlardanning birikmalaridan selektiv tozalashda optimal absorbentning yoki ularning kombinatsiyalangan absorbentlarini turini tanlash ketma-ketliklari va mezonlarini hamda absorbtiviyali tozalash texnologiyasidagi muammolari ko‘rib chiqilgan. Bugungi kunda neft va gaz xomashyosini sanoatda qayta ishlashga tayyorlashda alkanolaminli tozalashning har xil usullari mono- va dietanol eritmalaridan foydalanib vodorod sulfid, uglerod dioksidlari merkaptanlarni yutuvchi sifatida qo‘llashdagi muammolar va ularning yechimlari bo‘yicha masalalar o‘rganilgan. Ilmiy maqolada kolonna turidagi absorberdan foydalanish bo‘yicha alkanolaminlarning tarkibi ishlab chiqilgan.

Kalit so‘zlar: Aminli eritmalar, nordon komponent, alkanolamin, monoetanolamin, dietanolamin, inhibitor, elektrodializ, polietanolglikol, absorbent.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ
ГАЗОВ ОТ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА И СЕРЫ КОМБИНИРОВАННЫМИ
АБСОРБЕНТАМИ АЛКАНОЛАМИНОВЫХ РАСТВОРОВ ОТ ДАВЛЕНИЯ
И ТЕМПЕРАТУРЫ**

Юлдашев Ташмурза Рахманович

Профессор, д.т.н., Каршинский государственный
технический университет, Карши, Узбекистан

Турдиев Шахбоз Шермамет угли

Доцент, д.т.н., Каршинский государственный технический
университет, Карши, Узбекистан

Аннотация. Рассмотрены последовательность и критерии выбора оптимального абсорбента или их комбинированных абсорбентов для селективной очистки природного газа от кислых компонентов, а также вопросы технологии абсорбционной очистки. В настоящее время изучаются различные методы очистки алканоламинов при подготовке нефтегазового сырья к промышленной переработке, изучаются проблемы использования сероводорода, диоксида углерода, меркаптанов в качестве абсорбентов с использованием растворов моно- и диэтанола и вопросы их решения. В научной статье рассмотрен состав алканоламинов для использования в абсорбере колонного типа.

Ключевые слова: Растворы аминов, кислотный компонент, алканоламин, моноэтаноламин, диэтаноламин, ингибитор, электродиализ, полиэтанолгликоль, абсорбент.

STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE DEGREE OF PURIFICATION OF NATURAL GASES FROM CARBON DIOXIDE AND SULFUR BY COMBINED ABSORBENTS OF ALKANOLAMINE SOLUTIONS ON PRESSURE AND TEMPERATURE

Yuldashev Tashmurza Rakhmanovich

Professor, Doctor of Technical Sciences, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Turdiyev Shahboz Shermanat ugli

Docent, Doctor of Technical Sciences, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *The sequence and criteria for selecting the optimal absorbent or their combined absorbents for selective purification of natural gas from acidic components are considered, as well as the problems of absorption purification technology. Today, various methods of alkanolamine purification in the preparation of oil and gas raw materials for industrial processing are studied, problems in the use of hydrogen sulfide, carbon dioxide, mercaptans as absorbents using mono- and diethanol solutions, and issues of their solutions are studied. The scientific article deals with the composition of alkanolamines for the use of a column-type absorber.*

Keywords: *Amine solutions, acid component, alkanolamine, monoethanolamine, diethanolamine, inhibitor, electrodialysis, polyethanolglycol, absorbent.*

Kirish. Aminli eritmalar yordamida tabiiy gazlarni nordon birikmalardan tozalash jarayonini va optimal variantdagi eritmani tayyorlash texnologiyasi ishlab chiqilgan. Hisoblar aminli eritmani, monoetanolamin (MEA) va dietanolamin (DEA)ni optimal fraksion tarkibini aniqlash maqsadida ularga efirlar qo'shish asosida yangi kombinatsiyalangan absorbentlar olingan va tadqiqot yo'li asosida tajriba ishlari olib borilgan. MEA va DEA larning har xil nisbatlari qo'llanildi qaysiki, bunda tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalash bo'yicha ilmiy natijalar olingan [1,2,3,4].

Adabiyot tahlil va metodlar. Tabiiy gazni nordon komponentlarning zaxarli gazlaridan tozalashda optimal absorbentni yoki kombinatsiyalangan absorbentlarning turini tanlash shartlari va mezonlarini hamda olish texnologiyalarining tahlili ko'rib chiqilgan. Dunyoda neft va gaz xom ashyosini sanoatda qayta ishlashga birlamchi tayyorlashda alkanolaminli tozalashning har xil usullari mono-dietanol, dietanolaminli, metaldietanolaminli eritmalaridan foydalanib vodorod sulfid, uglerod dioksidlari merkaptanlarni va oltingugurtning birikmalarini yutuvchi sifatida qo'llashdagi muammolar ko'rib chiqilgan.

Kimyoviy reagentlarni va zaxarli komponentlarni samarali tozalashda yutuvchi eritmaning ko'piklanishining oldini olish va absorberning konstruktik xususiyatlarining ta'siri ko'rib chiqilganligi belgilangan. Ishda kolonna turidagi absorberdan foydalanish tavsiya qilinadi. Tabiiy gazning tarkibidagi kislotali gazlarni va issiqlikga chidamli bo'lgan tuzlarni aminli tozalashning samaradorligiga ta'sir qiluvchi omillari va texnik-iqtisodiy maqsadga muvofiqiligi muhokama qilingan [1,2,3,4,5,6,7].

Tabiiy gazlar uglevodorodlar bilan bir qatorda nordon gazlar, uglerod dioksidi (SO₂), vodorod sulfid (H₂S), merkaptanlar (RSH) va boshqalarning tarkibidan iborat bo'ladi, aniq sharoitlarda neft va gaz mahsulotlarini tashish va ulardan foydalanish jarayonini murakkablashtiradi. Birlamchi qayta ishlashda, tashishda va foydalanishda mumkin bo'lgan murakkabliklarni oldini olishda tabiiy gazdagi zaxarli komponentlarning tarkibi bo'yicha o'rnatilgan meyoriy ko'rsatkichlarga erishishga yo'naltirilgan zaruriy chora tadbirlarning rejasi oldindan ishlab chiqiladi. Shularni hisobga olgan holda gazlarni tozalash jarayonlarining texnologiyalari va absorbentlarning oralig'idagi asosiy mezonlarni tanlashda "keraksiz" komponentlarni belgilangan holda chuqur tozalashga erishish

mumkinligi va ulardan kerakli mahsulotlarni ishlab chiqarish uchun ko'rib chiqiladi [6,7,8].

Ishlab qayta ishlab chiqarishning kimyoviy sanoatida ko'p sondagi usullar va texnologiyalar qo'llaniladi qaysiki, ular tozalash vositalari (yutgichlar), nordon komponentlarni tozalash ko'rsatgichlari va qayta ishlanadigan xom ashyoni hajmlari bo'yicha bir-biridan farq qiladi.

Tadqiqotning asosiy maqsadi yuqoridagi muammolarni ilmiy asosda aminli eritmalarni kompozitsion absorbentlarini olish texnologiyasini ishlab chiqish va olingan ushbu kompozitsion absorbentlar yordamida tabiiy gazlarni nordon komponentlardan tozalash bo'yicha tadqiqotlar olib borish metodikasi ishlab chiqilgan.

Tabiiy gazlarni nordon komponentlardan tozalashdagi muammolarni yechish uchun tadqiqotda adabiyotlar sharhi bo'yicha statistik ma'lumotlarga, nazariy va amaliy tadqiqotlarning natijalardan samarali foydalanildi.

MGQIZ ning qurilmasida gazlarni tozalashni regeneratsiyasi jarayonida aminli absorbentni qo'llanilish sifatida dietanolaminni kamchiliklar bilan tavsiflanganligi ya'ni, korroziya faolligining yuqori darajasi, eritgichlar sarfining yuqoriligi, nisbatan eritgichlarning ko'p yo'qotilishi, uning regeneratsiya jarayoniga energiya sarflarining yuqoriligi va DEAning xossalari bilan bog'liqligi kabi kamchiliklar uchragan. Tadqiqotning asosiy maqsadi aminli tozalash usullaridan foydalanib gazni nordon komponentlardan tozalash jarayoni hisoblanadi hamda uning ekspluatatsiya qilish jarayonidagi muammolarni yomonlashtirishga olib keluvchi samaradorligiga ta'sir qiluvchi omillarni tezroq yechish masalalarini talab qilinadi [8,9].

H₂S va CO₂ larning aminlar bilan o'zaro ta'siri aminlarning turiga bog'liq holda sodir bo'ladi. Azot atomida o'rindoshning mavjudligi aminning reaksiyalanish qobiliyatiga bog'liq [2, 7, 8, 9].

MEA va DEA bilan taqqoslanishi bo'yicha vodorod sulfidni olib chiqish munosabatda ko'proq selektiv ya'ni, odatda absorbsiyalanmagan uglerod dioksidining miqdori bilan tavsiflanadi.

H₂S va CO₂ larni aminlar bilan reaksiyalanish tezligidagi farqlari ya'ni, H₂S ni aminlar bilan yutilishida massa uzatish qarshiligi gaz fazasida to'plangan, CO₂ ni yutilishida esa - suyuqlikda yutilishga olib keladi. MEAning H₂S (bir zumdagi

reaksiyasi) va CO₂ (sekin reaksiyasi) reaksiya tezliklaridagi farq ikkilamchi aminlarga nisbatan juda tez boradi. Vodorod sulfid bilan tez reaksiyaning va CO₂ bilan sekin reaksiyasi samarasi aralashmadan vodorod sulfidning CO₂ dietanolaminom (DEA) bilan olib chiqishni selektivligida foydalaniladi. Bunda absorber shunday o'lchamlarga ega bo'lishi kerakki, unda gazni kontaktdagi uchrashuv vaqtini, hamma vodorod sulfidning amalda yutilishi uchun yetarlicha bo'lishi, uglerod dioksidini amaliy miqdorda olib chiqish uchun yetarli bo'lmasligini ta'minlashi kerak. Vodorod sulfid bo'yicha jarayonning selektivligi gaz-suyuqlik kontakt vaqtini kamayishi bilan oshadi [9,11,12].

MEAning DEAgaga nisbatan afzalliklari quyidagilardan iborat:

- DEA bilan taqqoslash bo'yicha yuqori termik barqarorlik va eritmaning kichik korroziya faolligi;

- H₂S va CO₂ reaksiya issiqligining kichikligi ya'ni, absorbentning regeneratsiyasiga issiqlikning miqdorini kamaytirishning imkoniyati;

- karbon kislotalari va korroziya ingibitorlari bilan reaksiyasida regeneratsiyalanmaydigan aminlarni shakllantirmaydi, shunday qilib, aminni yo'qotilishi sodir bo'lmaydi, issiqlik almashgichning ichki yuzalarida qattiq cho'kindilar shakllanmaydi;

- to'yingan bug'larning bosimini pastligi tufayli uchuvchanlik evaziga aminning yo'qotilishi kamayadi;

- MEA va DEAning kerakli sarflari MDEA ga nisbatan biroz yuqoridir.

Jarayonning parametrlarini va massa almashinuv qurilmalarini absorbsiya jarayoniga yutgichlarning aralashish ta'sirining tahlili. MDEA vodorod sulfidga nisbatan katta yutilish faolligiga ega. MDEAning CO₂ bilan sekin reaksiya tezligi amaliy ko'rsatgichgacha bartaraf qilingan bo'lishi, bir yoki ikki kimyoviy faol birlamchi yoki ikkilamchi aminlarni qo'shib aminlarni suvda aralashmasini shakllantirish mumkin.

Bundan tashqari MDEAni CO₂ bilan sekin reaksiya tezligi absorberdagi parametrlar, konstruksiyalar, likopchalarning turi (nasadkalar) bilan egallanishi mumkin ya'ni, bunda uni suyuqlik tarkibida bo'lib turishning (kontakt) mos bo'lgan vaqti ta'minlanadi. CO₂ ning asosiy miqdorini yo'qotish uchun MDEAdan samarali foydalanish

uchun uni suyuqlik fazasida bo'lish vaqti SO₂ ning reaksiyasini bo'lib o'tishi uchun yetarlicha ko'p vaqtga ega bo'lishi zarur. Pastroq bosimlarda juda ham reaktiv amin qo'shilganda eritmani CO₂ ni olib chiqish qobiliyatini kuchaytiradi.

Shunday qilib, MDEA qo'llaniladigan sohada tovar gaziga qo'yilgan talablar bajarilmasligi, aminning aralashmasidan foydalanish qurilmaning ishini yaxshilashi mumkin.

Aminli tozalashning texnologik jarayonining ketma-ketligi. Absorbsiya jarayoni kolonna turidagi apparatda olib boriladi ya'ni, absorberda 1-rasm.

Kimyoviy ta'sir qilish reaksiyasi suyuqlik fazasida absorberning nasadkasi (likopchaning) kontakt yuzalarida bo'lib o'tadi ya'ni, bunda uzluksiz qarshi oqimda xomashyo oqimlarining kontaktida: tabiiy gazning - pastdan yuqoriga va aminli eritmaning - yuqoridan pastga oqimida.

Fazalarning kontaktlashish jarayonida H₂S va CO₂ larning suyuq yutuvchilari bilan kimyoviy birikmalarni shakllantirib xemosorbsiyasi amalga oshiriladi.

Aminli eritmalarini nordon komponentlar bilan to'yinishi aminni - desorberda bug'lantirish kolonnasida regeneratsiyalanadi u yerda, kimyoviy reaksiyani amingacha va gazlarni esa issiqlikni yutilishida (endotermik reaksiyasi) parchalanishi sodir bo'ladi. Desorbsiya jarayoni bosimni pasayishi va haroratning oshishi hisobiga bo'lib o'tadi. Barqaror ishlar rejimini ta'minlash maqsadida tizimga qarshi ko'piklanuvchi kiritiladi.

Moddalarning ifloslanishini yo'qotish uchun regeneratsiyalanadigan aminli eritmaning filtrlanish qismi faollashtirilgan ko'mir orqali o'tkaziladi.

Gazni aminli eritmalar bilan oltingugurtdan tozalash qurilmasi ishining ishonchligi quyidagi sharoitlarda pasayadi:

- aminlarning destruksiyasini qo'shimcha reaksiyalar va termik parchalanish hisobiga;
- jihozlarni va mahsulotuzatmalarni korroziyasi;
- smolanishi;
- gazni tozalash (quritish) tizimida ko'piklanish;
- quvurlarni va jihozlarni yuzasida qattiq aralashmalarning cho'kishi.

Tizimda ko'piklanishni jadallashuvining mavjudligi absorbentning yo'qotilishi va tovar gazning sifatini yomonlashishga olib keladi. Ko'pik

shakllanishning tashqi belgilari kolonnada bosimni keskin tushishini oshishi hisoblanadi.

Korroziya tezligi juda ko'p o'zgaruvchan kattaliklarga bog'liq. Qo'llaniladigan aminlarni korroziya faolligi quyidagi tartibda pasaytiriladi: MEA, DEA, MDEA.

Korroziya tezligiga nordon gazdagi CO₂ va H₂S larning nisbiy miqdorlari ham ta'sir ko'rsatadi. Nordon gazdagi CO₂ uglerod gazi H₂S ga nisbatan korroziyon hisoblanadi. Bunday holatda nordon gazdagi CO₂ va H₂S larning konsentratsiyasi mutloq aniqlovchi parametr hisoblanmaydi, ularning konsentratsiya nisbatlari qaynoq aminli eritmaning tarkibini aniqlaydi. Bundan tashqari korroziyaga xuddi fizik va kimyoviy parametrlar ham ta'sir qiladi hamda korroziya jarayoni jihozlarni qanday po'latlardan tayyorlanganligiga ham bog'liqdir.

Korroziya tezligi haroratning oshishi va eritmadagi CO₂ ning konsentratsiyasini oshishi bilan ko'tariladi, shuning uchun ularning tarkibi eritmada oshganda filtratsiyaga beriladigan eritmaning miqdorini oshirish zarurligi hisoblanadi.

Metallning yuzasida temir sulfidning eroziyasi mavjud bo'lmaganda metallik konsruksiyaalarning himoya pardasi yaratiladi. Buni hisobga olgan holda eng to'yintirilgan eritma yordamida kam tarkibdagi CO₂ ning va yuqori miqdordagi H₂S ning gazlardan tozalashga ruxsat etiladi.

Aminli tozalash samaradorligiga ta'sir qiluvchi omillar va tozalash jarayonini olib borish ketma-ketliklari. Aminli tozalash texnologiyasining eng asosiy kamchiliklaridan biri aminli eritmalarining regeneratsiya haroratining yuqoriligi va kislorod mavjud bo'lganda parchalanishi hisoblanadi. Bundan tashqari alkanolaminning kationlari organik (aminli degradatsiya mahsulotlari) va noorganik kislotalarni anionlari bilan o'zaro ta'sirlanishi natijasida issiqlikga chidamli bo'lgan tuzni (ICHT) shakllantiradi. ICHT barqaror va eritgichlarni regeneratsiyasi uchun namunaviy sharoitda parchalanmaydi va natijada bunday tuzlar issiqlikalmaztirish jihozlarning devorlariga o'tiradi, korroziya qobiqlarini shakllantiradi va issiqlikni uzatishda energiya sarflarini oshirib yuboradi.

Absorbsiya tizimida ICHTlarni to'planishi ekspluatatsiya muammolariga olib keladi, ya'ni, CO₂ ning absorbsiya xususiyatlarini pasaytirish va

uning fizik-kimyoviy xossalarini pasaytirish, xuddi korroziya faolligini oshirish, tiqilib qolish va jihozlarni eroziyalanishi kabi holatlarni keltirib chiqaradi. ICHTlar aminli eritgichlardan distillyatsiya (ionli almashishi) yoki elektrodializ (YED) yordami bilan olib chiqilishi mumkin. Ammo ikkala yondashuv holati ham ICHTlarni komponentlari bilan bilan birgalikda zaryadlangan zarrachalarni ham olib chiqish holatini keltirib chiqaradi va parchalangan neytral mahsulotlarni olib chiqish uchun qo‘shimcha ishlov berish talab qilinishi mumkin, xuddi qumli filtr va faollashtirilgan ko‘mir kabi.

Gazlarni tozalashda kompozitsion absorbentlarni olish uchun aminlar sifatida MEA va DEA, efirlar sifatida esa polietilenglikolning dimetil va monometil efirlari qo‘llanildi. Tadqiqotlarimizning ilk bosqichida amin va efirlarning turli konsentratsiyalardagi suvli eritmaları olindi va ushbu olingan kompozitsion absorbentlarning tarkibi 1-jadvalda keltirilgan [16].

1-jadval

Tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalash uchun amin va efirlar asosida olingan kompozitsion absorbentlarning tarkibi

№	Nomlanishi	Tarkibi, %			
<i>MEA+PEGDME+PEGMME asosida olingan kompozitsion absorbentlarning tarkibi</i>					
№	Nomlanishi	MEA	PEGDME	PEGMME	Suv
1	MPP-1	20	5	5	70
2	MPP-2	22	4	4	70
3	MPP-3	24	3	3	70
4	MPP-4	30	2	2	66
5	MPP-5	27	3	-	70
6	MPP-6	27	-	3	70
<i>DEA+PEGDME+PEGMME asosida olingan kompozitsion absorbentlarning tarkibi</i>					
№	Nomlanishi	DEA	PEGDME	PEGMME	Suv
7	DPP-1	20	5	5	70
8	DPP-2	22	4	4	70
9	DPP-3	24	3	3	70
10	DPP-4	30	2	2	66
11	DPP-5	27	3	-	70
12	DPP-6	27	-	3	70

ICHT texnologik gaz va suyuqlikda ba’zi bir kislotali komponentlarni mavjudligi sababli shakllanadi ya’ni, amin bilan ICHTni shakllanishi bilan qaytmas reaksiyalarni olib keladi. Bunday ifloslantirgichlarning tarkibiga xlorid, sulfat, formiat, atsetat, oksalat, tiotsinat va tiosulfat qo‘shiladi. Shakllangan tuzlar nisbatan mustahkam kimyoviy bog‘lanishga ega qaysiki, aminning sirkulyatsiyasi konturida ICHTlarni sekin asta to‘planishga olib keladi, ICHTlarning miqdorini

ruxsat etilgan chegaradan oshganda ekspluatatsiya qilishda va texnik xizmat ko‘rsatishda bir qator muammolar paydo bo‘ladi.

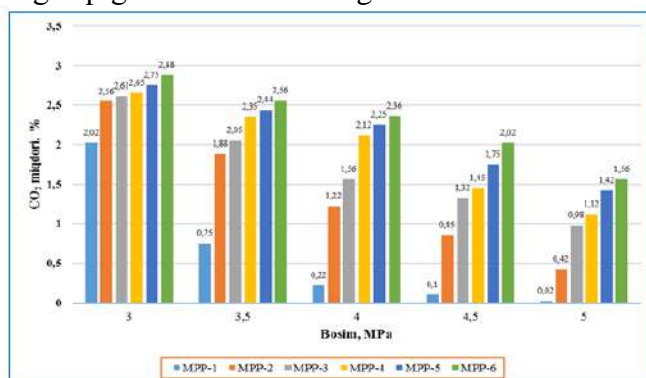
Tadqiqot natijalari. Bizning ilmiy tadqiqotimiz mahalliy xomashyo tabiiy gazlarini sifatini yuqoridagi tovar gazlariga qo‘yilgan talablarga yetkazishga qaratilgan. Bunda ilmiy tadqiqotning asosiy maqsadi gaz tarkibidagi nordon komponentlarni, ya’ni vodorod sulfid va uglerod dioksididan tozalashga qaratilgan bo‘lib, buning uchun absorbsiya jarayonida yangi avlod absorbentlarini ishlab chiqish va uni amaliyotga joriy etish maqsad qilib belgilangan.

Tabiiy gazlarni kombinatsiyalangan absorbentlar bilan selektiv tozalash uchun quyidagi tarkibdagi MEA+PEGDME+PEGMME absorbentlarning texnologiyasi ishlab chiqilgan.

MEA+PEGDME+PEGMME

(monoetanolamin + polietanolglikol dimetil efiri + polietanolglikol monometil efiri) asosida olingan absorbent kompozitsiyalarining gazlarni nordon komponentlar CO₂ va H₂S dan tozalash jarayonidagi faolligi va selektivligini tadqiq qilish.

Tadqiqotimizda gazlarni nordon komponentlardan tozalash uchun MEA+PEGDME+PEGMME asosida olingan MPP-1, MPP-2, MPP-3, MPP-4, MPP-5 va MPP-6 (monoetanolamin+ polietanolglikol dimetil efiri + polietanolglikol monometil efiri asosida tayorlangan amin va efirli absorbent kompozitsiyalari) absorbent kompozitsiyalari qo‘llanildi. Ushbu kompozitsiyalarning gaz tarkibida CO₂ ajratib olish darajasini bosimga bog‘liqligi 1-rasmda keltirilgan.



1-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.

Ilmiy tadqiqotlarimizning birinchi bosqichida gazlarni nordon komponentlar - CO₂ va H₂S dan tozalash jarayonida absorbentlarning faolligi va selektivligi aniqlangan. Absorbsiya qurilmasining asosiy texnologik ko'rsatkichlari quyidagicha: absorberga kiruvchi gaz bosimi 3–5 MPa; gaz harorati 55°C; regeneratsiyalangan MDEA absorbentining harorati 60°C. Kiruvchi gaz tarkibida CO₂ — 3,25% va H₂S — 0,81% ni tashkil etadi.

MPP-1, MPP-2, MPP-3, MPP-4, MPP-5 va MPP-6 absorbent kompozitsiyalaridan foydalanib, bosimning CO₂ ni ajratib olish darajasiga ta'siri o'rganildi. Olingan natijalar ushbu turdagi kompozitsiyalar uchun bosim ortishi bilan CO₂ ni yutish samaradorligi ham ortib borishini ko'rsatadi. Ular orasida tarkibi 20% MEA, 5% PEGDME, 5% PEGMME va 70% suvdan iborat MPP-1 kompozitsiyasi eng yuqori samaradorlikni namoyon qildi. Xususan, bosim 5 MPa bo'lganda chiqayotgan gaz tarkibidagi CO₂ miqdori 3,25% dan 0,02% gacha kamaydi. Absorbsiya jarayonida kiruvchi gaz bosimi 5 MPa bo'lsa, chiquvchi gaz bosimi 4,7 MPa ni tashkil etgan.

Yuqoridagi natijalar shuni ko'rsatadiki, olingan absorbent kompozitsiyalari 4 MPa bosimda ham tabiiy gaz tarkibidagi CO₂ ni tovar gazlari uchun belgilangan me'yorlarga qadar kamaytirishga qodir. Shu bois 4 MPa bosim sharoitida gaz va amin haroratining tozalash samaradorligiga ta'siri qo'shimcha ravishda tadqiq etildi.

Tadqiqotlarning keyingi bosqichida DEA+PEGDME+PEGMME asosida tayyorlangan DPP-1, DPP-2, DPP-3, DPP-4, DPP-5 va DPP-6 absorbent kompozitsiyalarining tabiiy gaz tarkibidan nordon komponentlarni tanlab yutishdagi faolligi va selektivligi aniqlangan. Absorbsiya jarayonining ish rejimi quyidagicha belgilangan: bosim 3–5 MPa; kiruvchi gaz harorati 55–30°C; absorberga kiruvchi absorbent harorati 60–35°C. Olingan natijalar 1-jadvalda keltirilgan [9].

DEA asosidagi DPP turkumidagi absorbentlarning faolligi MEA asosidagi kompozitsiyalarga nisbatan yuqoriroq ekani aniqlandi. Masalan, 3 MPa bosimda, absorbent harorati 35 °C va gaz harorati 30 °C bo'lganda DPP-1 kompozitsiyasi yordamida tabiiy gaz tarkibidagi umumiy oltingugurt konsentratsiyasi 0,011 g/m³ gacha, CO₂ ning molyar ulushi esa 0,20% gacha

kamaydi. DPP-2 absorbenti qo'llanganda esa umumiy oltingugurt konsentratsiyasi 0,032 g/m³ gacha, CO₂ molyar ulushi 0,46% gacha pasaydi.

Bosim 5 MPa gacha oshirilganda, gaz/amin harorati mos ravishda 45/40°C bo'lgan sharoitda DPP-1 va DPP-2 absorbentlari yordamida umumiy oltingugurt konsentratsiyasi 0,001 g/m³ gacha kamayganligi qayd etildi [2, 7, 8].

MEA+DEA+PEGDME+PEGMME asosida olingan absorbent kompozitsiyalarining CO₂ va H₂S dan tozalash jarayonidagi faolligi va selektivligini tadqiq qilish. Tadqiqotlarning navbatdagi bosqichida gazlarni nordon komponentlardan tozalash jarayonida MEA+DEA+PEGDME+PEGMME asosida tayyorlangan MDPP-1, MDPP-2, MDPP-3, MDPP-4 va MDPP-5 absorbent kompozitsiyalarining faolligi va selektivligi o'rganildi. Ushbu kompozitsiyalarni olishda MEA va DEA aminlarining PEGDME hamda PEGMME efirlari bilan sinergetik ta'sirini aniqlash maqsad qilingan. Olingan natijalar mazkur absorbentlarning tabiiy gaz tarkibidan nordon komponentlarni tanlab yutish qobiliyati ancha yuqori ekanini ko'rsatdi [8, 9].

Shuni alohida ta'kidlash lozimki, MEA+DEA+PEGDME+PEGMME asosida tayyorlangan absorbent kompozitsiyalari MEA yoki DEA asosida olingan kompozitsiyalarga nisbatan yaxshiroq samaradorlik ko'rsatdi. Masalan, absorbsiya jarayoni 3 MPa bosim, amin va gaz haroratlari mos ravishda 40/35°C bo'lganda MDPP-1 absorbenti yordamida tabiiy gaz tarkibidagi umumiy oltingugurt miqdori 0,02 g/m³ gacha, CO₂ miqdori esa 0,35% gacha kamaydi.

Xuddi shu sharoitda MDPP-2 absorbentini qo'llash natijasida umumiy oltingugurt miqdori 0,001 g/m³, CO₂ ulushi esa 0,36% gacha tushdi. MDPP-5 kompozitsiyasi esa eng yuqori samaradorlikni namoyon qilib, gaz tarkibidagi oltingugurt 0,001 g/m³ gacha, CO₂ miqdorini esa atigi 0,04% gacha kamaytirishga erishdi. Bosimning ortishi va amin hamda gaz haroratlarining pasayishi bu ko'rsatkichlarni yanada yaxshilaganini kuzatish mumkin.

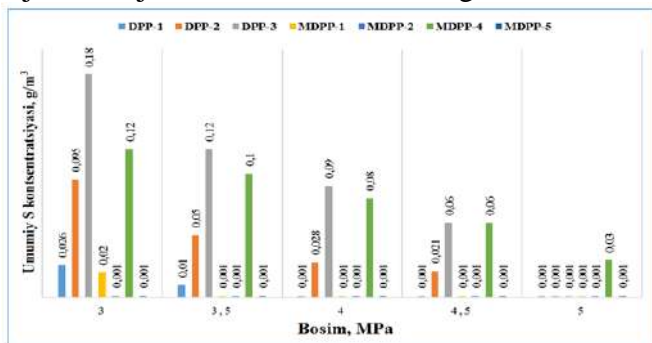
Amin va efirlar asosida olingan kompozitsion absorbentlarning gazni nordon komponentlardan tozalash darajasini taqqoslash. Umuman olganda, nordon gazlarni tozalash uchun DEA, MEA, PEGDME va

PEGMME asosida jami 17 ta yangi kompozitsion absorbent tayyorlandi. Ularning 3–5 MPa bosimda, amin harorati 65–35°C va gaz harorati 55–30 °C sharoitlarda CO₂ va H₂S ni yutish samaradorligi o‘rganildi. Tadqiqot natijalarida kompozitsiyalar selektivlik darajasi bosim va haroratga sezilarli darajada bog‘liq ekanini aniqlandi.

Ular ichida DPP-1, DPP-2, DPP-3, MDPP-1, MDPP-2, MDPP-3 va MDPP-5 kompozitsiyalari eng yuqori natijalarni ko‘rsatdi. Barcha absorbentlarda gaz va amin haroratlarining pasayishi, shuningdek bosimning ortishi bilan absorbsion tozalash samaradorligi oshib borgan.

Eng optimal natijalar amin harorati 40–35°C va gaz harorati 35–30 °C (mos ravishda 40/35°C va 35/30°C) bo‘lgan holatlarda qayd etildi.

Mazkur kompozitsiyalarning 3–5 MPa bosim ostida, 40/35°C va 35/30°C haroratlarda oltingugurt ni yutish darajasi bo‘yicha olingan tajriba natijalari 2-rasmlarda keltirilgan.



3-rasm. Absorbent/Gaz haroratlari 40/35oS bo‘lganda kompozitsion absorbentlarini tabiiy gaz tarkibidan oltingugurt ni tozalash darajasi.

O‘tkazilgan tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, Absorbent/Gaz haroratlari 35/30°C bo‘lganda DPP-1, MDPP-1, MDPP-2, MDPP-4 va MDPP-5 absorbentlari 3 MPa bosim ostida tabiiy gaz tarkibidagi umumiy oltingugurt konsentratsiyasini talab etilgan 0,030 g/m³ gacha kamaytirishga qodir. Bosim 3,5 MPa gacha oshiril-

ganda esa DPP-2 kompozitsion absorbenti ham gazni belgilangan me‘yor darajasigacha tozalashi aniqlangan.

Tadqiqotlar davomida gaz tarkibidagi umumiy oltingugurt massaviy konsentratsiyasini 0,001 g/m³ gacha kamaytirish imkoniyati mavjudligi qayd etildi. Biroq ushbu qiymatdan pastga tushirishning imkoni bo‘lmagan — ya‘ni, oltingugurt miqdori ma‘lum bir chegaradan keyin o‘zgarasligi kuzatilgan.

Absorbent/Gaz haroratlari 40/35°C ga ko‘tarilganda 3 MPa bosim ostida o‘tkazilgan tajribalar DPP-1, MDPP-1, MDPP-2 va MDPP-5 kompozitsiyalari yordamida gazni oltingugurtdan tozalash talablari to‘liq bajarilganini ko‘rsatdi.

Xulosa. O‘tkazilgan tadqiqotlar natijasida MEA, DEA, PEGDME va PEGMME asosida 17 ta yangi kompozitsion absorbentlar olinib, ularning CO₂ va H₂S kabi nordon komponentlarni tanlab yutishdagi faolligi, selektivligi hamda bosim va haroratga bog‘liqligi kompleks baholandi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, bosimning ortishi va amin/gaz haroratlarining pasayishi absorbsion tozalash samaradorligini sezilarli darajada oshiradi.

Kompozitsiyalar orasida DPP-1, DPP-2, DPP-3, MDPP-1, MDPP-2 va MDPP-5 namunalari eng yuqori natijalarni ko‘rsatib, gaz tarkibidagi CO₂ va H₂S miqdorlarini tovar gazlariga qo‘yilgan me‘yorlardan past darajagacha kamaytira oldi. Eng yaxshi absorbentlar yordamida oltingugurtning massaviy konsentratsiyasi 0,001 g/m³ gacha, CO₂ miqdori esa 0,04–0,20% oralig‘igacha pasaytirilishi aniqlandi.


Umuman olganda, aminlar va poliefirlar kombinatsiyasi sinergetik ta‘sirga ega bo‘lib, MEA yoki DEA asosidagi absorbentlarga qaraganda yuqori faollik va selektivlik namoyon qildi. Natijalar ushbu kompozitsion absorbentlarning sanoat sharoitida tabiiy gazlarni nordon komponentlardan samarali tozalash uchun katta amaliy ahamiyatga ega ekanini ko‘rsatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

- [1] Юлдашев, Т. Р. (2023). Исследование составов и физических свойств абсорбентных композиций на основе амина и эфиров. КарДУ хабарлари, 2/1(58), 67–72.
- [2] Yuldashev, T. R. (2023, November 9–11). Modern research in science and education. Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference (pp. 330–334). Chicago: SCI-Conf.com.ua.

- [3] Yuldashev, T. R., & Makhmudov, M. J. (2023). Cleaning of natural gas from sour components. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 16(3), 296–306.
- [4] Юлдашев, Т. Р. (2023). Основа оборудования, используемого в процессе очистки газоабсорбционной технологии. *Universum: технические науки*, (5-6(110)), 20–24.
- [5] 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.
- [6] Юлдашев, Т. Р. (2023). Очистка газа от кислых компонентов и пути ее решения. В *Научно-технический прогресс: задачи и их решения* (pp. 150–155).
- [7] 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.
- [8] Tashmurza, Y. R. (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.
- [9] Юлдашев, Т. Р. (2023, November 2–4). 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: Cognum Publishing House.
- [10] Yuldashev, T. R. (2025). Neft gazini utilizatsiya qilishda yangi suyultirish texnologiyasini qo'llanilishining afzalligi. *Sanoatda raqamli texnologiyalar / Цифровые технологии в промышленности*, 3(1), 129–134.
- [11] Юлдашев, Т. Р. (2024). Исследование процесса очистки газа от кислых компонентов. *Formation of Psychology and Pedagogy as Interdisciplinary Sciences*, 3(29), 388–402.
- [12] Yuldashev, T. R. (2024). Tabiiy gazlarni nordon komponentlardan tozalashning texnologik jarayonlarini modellashtirish va rejalashtirish matritsasining xususiyatlari. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 2(1).

UO‘K: 553.98:622.279.5:622.276.54

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.20

SHIMOLIY BERDAX KONIDA SUVLANGAN GAZ QUDUQLARINI EKSPLUATATSIYA QILISH USULLARI



Xalimatov Irmuxamat

Professor, g.-m.f.n., Toshkent davlat
texnika universiteti,
Toshkent, O‘zbekiston
E-mail:

Irmuxammad.Xalimatov.tdtu@gmail.com
ORCID ID: 0000-0001-7163-7824



**Zakirov Ravshan
Tulkinovich**

Professor, g.-m.f.n., Toshkent davlat
texnika universiteti, Toshkent,
O‘zbekiston

E-mail: r.t.zakirov@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-5426-9134



**Shomurodov Shohboz
Erol o'g'li**

Katta o'qituvchi (PhD), Qarshi
davlat texnika universiteti,
Qarshi, O‘zbekiston
E-mail:

Shomurodovshohboz@mail.ru
ORCID ID: 0009-0009-6713-5229

Annotatsiya. Maqolada suvlangan qatlamlardan gaz olishni jadallashtirish masalasi ko‘rib chiqiladi. Misol sifatida Shimoliy Berdax konidagi quduqlar keltirilgan bo‘lib, undagi foydalanish fondidagi 48 ta quduqning deyarli barchasi suv chiqarish bilan ishlaydi. Kon ko‘p qatlamli bo‘lib, murakkab geologik tuzilishga ega. Yakuniy gaz berish koeffitsiyentini oshirish uchun suyuqlikni yer yuzasiga chiqarishning samarali usullarini qo‘llash tahlil qilinadi. Kam unumli quduqlarda yuzaki-faol moddalarni qo‘llash natijasida ijobiy natijalar olingan. Xulosa qismida gaz qazib olishni jadallashtirish bo‘yicha tavsiyalar beriladi.

Kalit so‘zlar: quduq, qazib olish, gazlilik, foydalanish, kapital ta‘mirlash, gaz omili, suvlanish, debit, quduq tubi, suyuqlik, ko‘p qatlamli, bosim, fond.

МЕТОДЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБВОДНЯЮЩИХСЯ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШИМОЛИЙ БЕРДАХ

**Халиматов
Ирмухамат**

Профессор, Ташкентский
государственный технический
университет,
Ташкент, Узбекистан

**Закирова Равшана
Тулкинович**

Профессор, Ташкентский
государственный технический
университет,
Ташкент, Узбекистан

**Шомуродов Шохбоз
Ерол угли**

Старший преподаватель (PhD),
Каришинский государственный
технический университет,
Кариши, Узбекистан

Аннотация. В статье рассматривается вопрос интенсификации отбора газа из обводненных пластов. Примером взята скважина месторождения Шимолый Бердах, в котором из 48 скважин эксплуатационного фонда почти все работают с выносом воды. Месторождений многопластовое, характеризуется сложным геологическим строением. Для повышения коэффициента конечной газоотдачи анализируется применения эффективных методов выноса жидкости на поверхность. В результате применения ПАВ в малодобытных скважинах результаты были положительными. В заключении предлагается рекомендации для интенсификации добычи газа.

Ключевые слова: скважина, добыча, газоносность, эксплуатация, капиталный ремонт, газовый фактор, обводнение, дебит, забой, жидкость, многопластовый, давление, фонд.

METHODS OF EXPLOITING WATERING GAS WELLS OF THE SHIMOLIY BERDAKH FIELD

Khalismatov Irmukhamat

*Professor, Tashkent State Technical
University, Tashkent, Uzbekistan*

Zakirov Ravshan

Tulkinovich

*Professor, Tashkent State Technical
University, Tashkent, Uzbekistan*

Shomurodov Shokhboz

Erol ugli

*Senior Lecturer (PhD), Karshi
State Technical University,
Karshi, Uzbekistan*

Abstract. The article examines the issue of intensifying gas extraction from water-flooded reservoirs. The wells of the Shimoliy Berdakh field are taken as an example, where almost all 48 wells in the operational fund produce water along with gas. The field is multi-layered and characterized by a complex geological structure. To increase the final gas recovery factor, the application of effective methods for lifting liquid to the surface is analyzed. The use of surfactants in low-yield wells yielded positive results. In conclusion, recommendations for intensifying gas production are proposed.

Keywords: well, production, gas content, operation, workover, gas-oil ratio, water cut, flow rate, bottomhole, fluid, multi-layered, pressure, well stock.

Kirish. Ustyurt neftgaz hududidagi ko'plab gaz va gazkondensat konlari quduqlar mahsulotining tabiiy suvlanishi bilan ishlatilmoqda. Bu sharoitda asosiy muammo mahsuldor qatlamlarning yakuniy gazkondensat berishini oshirishdir. Shu sababli, hozirgi kunda suvlangan qatlamlardan gaz olishni jadallashtirish masalasiga katta e'tibor qaratilayotgani tabiiydir.

Shimoliy Berdax koni 2004-yilda ochilgan bo'lib, uni ilk bor 2-raqamli qidiruv qudug'i aniqlagan. Ushbu quduqda o'rta yura yotqiziqlarining 2644-2640 metr oralig'ida o'tkazilgan sinovda kuniga 70,5 ming kub metr hajmda gaz oqimi olingan [1].

Konlar ko'p qatlamli bo'lib, murakkab geologik tuzilishga ega. Bu ularning kesimida turli fatsial-barqaror bo'lmagan litologik turdagi jinslar - qumtoshlar, alevrolitlar va gillarning mavjudligi bilan izohlanadi. Kollektorlar qumtosh linzalari ko'rinishidagi alohida qatlamlardan iborat. Maydon bo'ylab va mahsuldor qatlam kesimi bo'yicha notekis taqsimlangan.

Shimoliy Berdax konida, asosan yuqori va o'rta yura yotqiziqlari istiqbolli hisoblanadi. Konning zaxiralarni hisoblashda asosan 14 ta sanoat miqyosidagi mahsuldor gorizontlar ajratilgan: Shundan bitta quyi yurada (J_1^1 qatlami), to'qqizta o'rta yurada (J_2^7 , J_2^6 , J_2^5 , J_2^4 , J_2^{3a} , J_2^3 , J_2^{2a} , J_2^{2b} , J_2^1 qatlamlari) va to'rttasi yuqori yurada (J_3^{11} , J_3^{10} , J_3^9 , J_3^8 qatlamlari) aniqlangan. Gaz saqlovchi qatlam sifatida asosan g'ovakli turdagi terrigen kollektorlar xizmat qiladi. Barcha pachkalarining kollektorlari

kvvars-dala shpatli, mayda, o'rta va yirik donali qumtoshlardan iborat bo'lib, gilli sement bilan bog'langan [2]. Qumtoshlar orasida zich, mustahkam va qumli gil hamda alevrolit qatlamlari uchraydi. Kesimning yuqori qismida o'rta va mayda donali qumtoshlar ko'proq uchrasa, quyi qismida esa o'rta va yirik donali qumtoshlar ko'proq uchraydi.

Gidrogeologik rayonlashtirish natijalariga ko'ra, Shimoliy Berdax koni Shimoliy Ustyurt artezian havzasi tarkibiga kiradi. Ushbu havza tarkibida ikki asosiy gidrogeologik qavat ajratilgan: Quyi qavat - qiyin va juda qiyin suv almashinuvi zonasi bo'lib, u yuqori trias-yura, yuqori yura - neokom va senon-turon bosimli suv komplekslarini o'z ichiga oladi. Yuqori qavat - erkin suv almashinuvi zonasi bo'lib, neogen-to'rtlamchi bosimli suv kompleksini qamrab oladi va infiltratsion suvlarning tarqalishi bilan tavsiflanadi [3].

Shimoliy Berdax konidagi 48 ta ekspluatatsion fond quduqlarining deyarli barchasi suv ajralishi bilan ishlaydi. Quduqlardan chiqarilayotgan kunlik suv miqdori $0,62 \text{ g/m}^3$ (74-quduq) dan 168 g/m^3 (24-quduq) gacha, ayrim hollarda undan ham yuqori qiymatlarga yetadi. Hozirda 7 ta quduq (13, 19, 36, 46, 65, 68 va 70-raqamli) kapital ta'mirlash jarayonida.

Izlanish metodologiyasi va faktik ma'lumotlar. Tubida suv ustuni hosil bo'ladigan gaz quduqlarining mahsuldorligini boshqarish masalasi katta amaliy ahamiyatga ega. Suyuqlikning quduq tubida to'planishi bosh-

languniga qadar, deyarli vertikal gaz quduqlarida suyuqlik harakati, asosan, ikki asosiy fizik jarayon bilan aniqlanadi. Quduqning ishlash samaradorligi pasaygan sari, dastlab tozalovchi oqim rejimi, so'ngra esa pufakchali oqim rejimi shakllana boshlaydi [4]. Suyuqlik quduq tubini to'ldirganda, u og'irlik kuchi ta'sirida ushlanib qoladi va natijada gaz oqimining harakatiga qo'shimcha gidravlik qarshilik hosil qiladi. Gazning stvol bo'ylab yuqoriga filtrlanishi suyuqlik ustunining tuzilishini o'zgartirishga intiladi va katta tezliklarda quduqdan suyuqlikning katta qismini chiqarib yuborishi mumkin. Biroq, zarrachalarni gaz oqimi bilan ko'tarish uchun debit ma'lum bir miqdordan katta bo'lishi kerak va mahsuldor qatlamning pastki qismida debit oshgani sababli suyuqlik ustuni ko'tariladi va lift quvurlari mahsuldor qatlamning pastki qismiga yetib bormasligi sharti zarur [5].

Quduq tubida suvning to'planib qolishi uning ishlab chiqarish unumdorligini sezilarli darajada kamaytiruvchi omil hisoblanadi. Gaz sarfi quduq lift konstruksiyasi uchun ruxsat etilgan chegaraviy miqdordan past bo'lganda, quduqdagi gaz oqimi suyuqlik ustunini ko'tara olmaydi va natijada quduq favvoralanish rejimidan chiqadi. Bunday holat quduqning samarali ishlashiga to'sqinlik qilib, gazning tabiiy oqimini to'xtatadi.

Shu sababli quduq mahsulotida suv paydo bo'lishi boshlanishi bilanoq, uni yer yuzasiga chiqarishning samarali texnologik usullarini qo'llash zarur. Bunda quduqning ish rejimi shunday tarzda tanlanishi lozimki, suv quduq tubida to'planib qolmasin hamda gaz beruvchi (kollektor) qatlamlarga qayta oqib o'tish holatlari yuzaga kelmasin. To'g'ri tanlangan ish rejimi nafaqat quduqning ishlab chiqarish barqarorligini ta'minlaydi, balki qatlam bosimining pasayishiga va gaz zaxiralarining yo'qotilishiga yo'l qo'ymaydi.

Gaz quduq'ini ekspluatatsiya qilish usulini tanlash, avvalo, qatlam suyuqligining quduq stvoliga kirish dinamikasi hamda bu suyuqlikning fizik-kimyoviy xususiyatlariga bog'liqdir. Qatlamdan quduqqa o'tuvchi suyuqlikning turi, miqdori va oqim tezligi quduqning ishlash rejimini belgilovchi asosiy omillardan biridir.

Gaz qazib olish jarayonida mahsuldor qatlamning suvlanish darajasi ortib borishi natijasida quduqning ishlab chiqarish ko'rsatkichlari pasayadi. Shu bois gaz qazib olishning

pasayish sur'atlarini kamaytirish va konlarning yakuniy gaz berish koeffitsiyentini oshirishning muhim rezervi sifatida, suvlanayotgan gaz quduqlarining barqaror ishlash davrini uzaytirish maqsadida suyuqlikni yer yuzasiga chiqarishning samarali texnologik usullarini qo'llash zarur.

Mazkur yondashuv nafaqat quduq unumdorligini uzoq muddat saqlab qolishni, balki gaz konlarini kompleks ekspluatatsiya qilish samaradorligini oshirishni ham ta'minlaydi.

Suvlanayotgan gaz quduqlarini ishlatishga oqilona yondashish lift quvurlaridagi gaz-suyuqlik oqimining (GSO) harakatlanish sharoitiga va quduq stvolida suyuqlikning to'planish mexanizmiga bog'liq.

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, Shimoliy Berdax konining deyarli barcha quduqlari kritik ko'rsatkichlarga yaqin parametrlarda ishlaydi (1-jadval).

Shu sababli, lift quvurlarida gaz-suyuqlik oqimi harakatlanganda bosim yo'qotilishi ortadi va suyuqlikni yer yuzasiga chiqarish sharoitlari yomonlashadi. Suyuqlikni majburiy chiqarib tashlash usullarini, birinchi navbatda, suv omili yuqori ($118-168 \text{ g/m}^3$) bo'lgan 22, 24, 30 - quduqlarda joriy etish zarur. Lift quvurlari boshmog'i yaqinida 9, 21-sonli kam debitli quduqlar gaz harakatining past tezliklari bilan ishlaydi. Ko'rsatilgan quduqlarni tubida kondensat to'planishi mumkin. Shuning uchun past gaz debitlarida gaz quduq'i tubidan suyuqlikni chiqarib olish uchun elektr, mexanik, kimyoviy yoki ularning kombinatsiyasi ko'rinishidagi qo'shimcha energiya sarfi talab etiladi.

Gaz quduqlarining suvlanishiga qarshi kurashishning ko'plab usullari mavjud, ammo ularning har biri cheklangan qo'llanilish sohasiga ega. Bu hodisaga qarshi kurashishning universal usullari mavjud emas. Shuning uchun u yoki bu usuldan foydalanish masalalarida ma'lum bir konning quduqlarini ishlatish texnologiyasini tanlashda qabul qilinishi kerak. Gaz va gazkondensat quduqlarining barqaror ishlashini ta'minlash uchun suyuqlikni majburan chiqarib yuborish va quduq tubiga suyuqlik oqimini cheklash kabi turli usullar qo'llaniladi. Ularni uch guruhga bo'lish mumkin:

a) plunjerli lift va nasosli so'rish yordamida suyuqlikni chiqarish usullari juda cheklangan qo'llaniladi. Ehtimol, bu chuqurlik nasoslarining

past foydali ish ko'effitsienti (FIK) bilan bog'liq, bundan tashqari, erkin gaz mavjud bo'lganda u keskin pasayadi. FIKni oshirish uchun chuqurlik separatorlarini o'rnatish zarur, ammo bu qurilma tuzilishini murakkablashtiradi va butun tizimning ishonchligini pasaytiradi;

b) ko'pik hosil qiluvchi sirt faol moddalar yordamida suyuqlikni chiqarish usuli;

c) dispergatorlar yordamida suyuqlikni chiqarish usullari.

1-jadval

Shimoliy Berdax koni quduqlarining kiritik parametrlarini hisoblash natijalari

Quduq №	Suv chiqarish uchun standart sharoitlarda kiritik debit Q (ming m ³ /kun)	Faktik debit (ming m ³ /kun)	Quduq og'zidagi kiritik tezlik (m/s)	Quduq og'zidagi faktik tezlik (m/s)	Shtutser diametri, mm
9	26,183	26	3,19	3,05	12
20	27,848	28	2,99	2,8	10
22	26,427	27	3,12	3	14
24	33,393	70	2,49	5,1	12
27	27,357	30	3,04	3,04	12
37	27,365	59	2,95	5,2	12
49	26,362	25	3,12	2,9	8
52	27,871	41	2,92	4,5	10
55	27,730	51	2,99	5,05	10
57	25,248	59	3,19	7	14
61	26,2488	59	3,19	6,7	10

Gaz quduqlaridan suyuqlikni chiqarish vositasi sifatida ko'pikdan foydalanishning asosiy afzalligi shundaki, suyuqlik gaz pufakchalari pardasi bilan ushlab turiladi va katta yuzaga ega bo'lgan suyuqlikka ta'sir ko'rsatadi. Bu esa gazning kamroq sirpanishiga va past zichlikdagi aralashma hosil bo'lishiga olib keladi.

Gaz debiti juda kichik bo'lgan quduqlarda ko'pik hosil qiluvchi reagentlarni qo'llash suyuqlikni quduq og'ziga samarali olib chiqishga yordam beradi. Ko'pik hosil bo'lishi natijasida suyuqlikning zichligi kamayadi va uning gaz bilan birgalikda yuqoriga ko'tarilish imkoniyati oshadi. Aks holda, ko'piksiz holatda suyuqlik quduq tubida ushlanib qoladi, bu esa uning sezilarli darajada to'planishiga, oqimdagi gidravlik qarshilikning ortishiga va ko'p fazali oqimda bosimning katta yo'qotilishiga olib keladi.

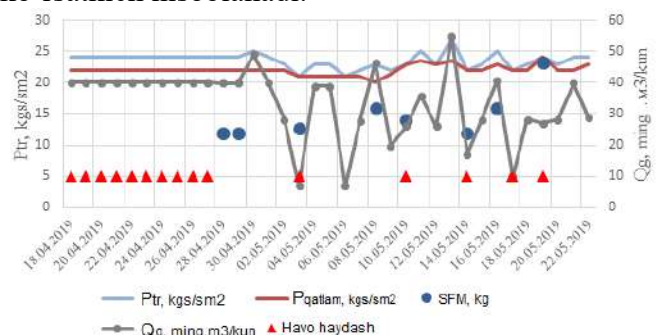
Shimoliy Berdax konining 22, 40, 53 va 66-raqamli quduqlarida, mahsulotning suvlanganligi 41 % (22-quduq) dan 80 % gacha (66-quduq) bo'lgan sharoitlarda, qattiq va suyuq sirt faol moddalarni (SFM) qo'llash bo'yicha o'tkazilgan geologik-kon tahlil natijalari quyidagilarni ko'rsatdi [6].

SFM qo'llanilishidan oldin quduqlarda havo

haydash jarayoni haftasiga 3 martadan 7 martagacha amalga oshirilgan. SFM qo'llangandan so'ng esa samaradorlik, avvalo, havo haydash chastotasining kamayishida namoyon bo'ldi (1-rasmda 22-quduq misolida keltirilgan). Bu holat, o'z navbatida, atmosferaga chiqarilayotgan gazlar hajmining kamayishiga olib keldi.

Quduqlarda kondensat va qatlam suvi miqdorining yuqoriligi tufayli quduq tubida suyuqlik tiqinlari (kondensat + qatlam suvi) uzluksiz to'planib boradi. Qattiq SFM har safar yuklangandan so'ng quduqlarning ishchi debitlarida keskin o'sish kuzatildi. Quduqlarning ish rejimini yanada barqarorlashtirish maqsadida suyuqlik holidayi sirt faol moddalarni davriy ravishda haydash tavsiya etiladi.

Shimoliy Berdax konining 22, 40, 53 va 66-raqamli gaz quduqlarida mahsulotning suvlanganligi 41% (22-quduq) dan 80% gacha (66-quduq) oraliqda o'zgaradi. Mazkur quduqlarda qattiq va suyuq turdagi sirt faol moddalarni (SFM) qo'llash samaradorligini aniqlash maqsadida geologik-kon tahlili o'tkazildi. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, SFM qo'llanilishidan avval quduqlarni barqaror ish rejimida ushlab turish uchun havo haftasiga 3 martadan 7 martagacha haydalgan. SFM qo'llanilgandan so'ng esa havo haydash chastotasi kamaydi (1-rasmda 22-quduq misolida), bu esa texnologiyaning samaradorligini tasdiqlaydi. Natijada atmosferaga chiqarilayotgan gaz hajmi kamaydi, bu esa ekologik barqarorlik nuqtayi nazaridan muhim ko'rsatkich hisoblanadi.



1-rasm. 22-quduq parametrlarining qattiq SFM qo'llanilishi boshlanishi bilan o'zgarish dinamikasi.

Tahlil shuningdek shuni ko'rsatdiki, quduqlarda kondensat va qatlam suvi miqdorining yuqoriligi tufayli quduq tubida suyuqlik tiqini (kondensat + qatlam suvi) uzluksiz to'planib boradi.

Qattiq SFM har safar yuklangandan so'ng quduqlarning ishchi debitlarida sezilarli ortish kuzatildi, bu esa sirt faol moddalarining quduq ichidagi suyuqlik ajralish jarayoniga ijobiy ta'sir ko'rsatishini isbotlaydi.

Quduqlarning ish rejimini yanada barqarorlashtirish va suvlanish darajasining salbiy ta'sirini kamaytirish maqsadida suyuq sirt faol moddalarni davriy ravishda haydash tavsiya etiladi. Ushbu yondashuv quduqning ishlab chiqarish ko'rsatkichlarini uzoq muddatda saqlab qolishga hamda gaz konining umumiy samaradorligini oshirishga xizmat qiladi [6].

30, 47 va 49-raqamli quduqlarda ham qattiq sirt faol moddalar (SFM) qo'llanilgan, biroq ularni qo'llash natijasida ijobiy samara kuzatilmagan. Ushbu holat, ehtimol, quduqlarning past qatlam bosimi (<4 MPa) bilan izohlanadi, chunki bunday bosim gidrodinamik nuqtai nazardan mavjud suv ustunini ko'tarish uchun yetarli emas.

Xulosa va takliflar. Yuqoridagilardan kelib chiqib, Shimoliy Berdax konida gaz quduq'i tubidan suyuqlikni chiqarib tashlash usuli taklif etilmoqda. U olib tashlanadigan suyuqlikka qattiq ko'pik hosil qiluvchi SFMni kiritishni va uni lift quvurlari ichida o'rnatilgan yaxlit to'siqda mahsuldor qatlam tubi sathida ushlab turishni o'z ichiga oladi [7]. SFM mahsuldor qatlam zonasida to'liq eriguncha ushlab turiladi. Suyuqlik chiqarib yuborilgandan so'ng, to'liq erimagan SFM tiqinda qoladi va suyuqlik quduqqa kirganda unda eriydi.

Taklif etilayotgan usul suyuqlik miqdori 1-2 m³/kundandan ko'p bo'lmagan kichik debitli quduqlarda samarali hisoblanadi (NoNo 16, 20, 27, 31, 34, 37 va boshqa quduqlar).

Ikkinchi taklif etilayotgan variant quyidagicha. SFM mahsuldor qatlam tagida nasos-kompressor quvurlariga o'rnatilgan halqasimon to'rtli manjetda ushlab turiladi, mahsuldor qatlam oralig'ida teshiklar mavjud. Ularning umumiy maydoni quvurlarning o'tish kesimi maydoniga teng yoki undan katta [8]. Taklif etilgan usulni qo'llash SFM sarfini kamaytirgan holda quduq tubidan suyuqlikni samarali chiqarib tashlashni ta'minlaydi.

Gaz quduqlaridan suyuqlikni chiqarish jarayonini jadallashtirishning istiqbolli yo'nalishi suyuqlikni mayda dispers holatga o'tkazish va shu bilan gaz quduqlarining ishlash sharoitlarini

yaxshilash va unumdorligini oshirish imkonini beruvchi quduq tubi dispergatorlarini qo'llash hisoblanadi. Gaz quduqlari tubidan suyuqlikni chiqarib tashlash uchun disperslovchi qurilmalardan foydalangan holda quduqlarning texnologik ish rejimi taklif etiladi. Ular quduqlarga o'rnatilganda quduqlarning atmosferaga majburiy havo haydamasdan ishlash davri uzaytiriladi.

Gaz quduqlaridan suyuqlikni chiqarib tashlash jarayonini jadallashtirish maqsadida teshiklari mavjud mustahkamlovchi quvurlar birikmasi, ko'taruvchi quvurlar birikmasi va dispergatorlardan iborat maxsus qurilma ishlab chiqilgan [9]. Ushbu qurilma mustahkamlovchi va ko'taruvchi quvurlar birikmalari orasida joylashtirilgan konussimon manjetlar yordamida hosil qilingan yopiq hajmlar ko'rinishida tuzilgan. Ko'taruvchi quvurlar ustunida joylashgan teshiklarning umumiy maydoni mustahkamlovchi quvurlar ustunidagi teshiklar maydonidan kichikdir. Konussimon manjetlar elastik materialdan tayyorlanib, mahsuldor qatlam oralig'iga o'rnatiladi. Tajriba natijalari shuni ko'rsatadiki, agar gorizontol gaz oqimi balandlik bo'yicha alohida bo'limlarga ajratilsa, quduqdan suvni olib chiqish sharoiti sezilarli darajada yaxshilanadi. Bunda gaz oqimining ko'taruvchi quvurlar ichiga bo'limning pastki qismidan kirishi zaruriy shart hisoblanadi.

Bunday holatda, seksiyada to'plangan suv pastga oqib tushadi, gaz oqimi tomonidan ushlanadi, purkalib mayda tomchilarga ajraladi va quduq og'ziga chiqariladi. Natijada, quduqda suyuqlik to'planishining oldi olinadi va quduqning suvlanish darajasi kamayadi.

Quduqdan suyuqlikni yanada samarali chiqarib tashlash maqsadida, pastki konussimon manjet mahsuldor qatlam tubidan biroz pastroqqa, yuqoridagi manjet esa qatlamning shift (krovlya) sathiga o'rnatiladi. Bunday konstruktiv joylashuv qurilmaning mahsuldor qatlamning butun qalinligi bo'yicha samarali ishlashini ta'minlaydi hamda quduq tubida suyuqlikning to'planib qolish ehtimolini kamaytiradi.

Shunday qilib, Shimoliy Berdax konining suvlangan gaz quduqlarida sirt faol moddalar (SFM) va dispergatorlardan foydalanish quyidagi ijobiy natijalarni beradi:

1. Kuchli suvlangan quduqlarda gaz yuborish jarayonini amalga oshirmasdan 4-5 kun davomida

barqaror ishlash imkonini yaratadi. Bu quduqning tabiiy favvoralanish rejimini tiklashga yordam beradi va texnologik uzilishlarni kamaytiradi.

2. Atrof-muhitning tabiiy gaz, gaz kondensati hamda qatlam suvlari bilan ifloslanishini kamaytiradi, bu esa ekologik xavfsizlikni ta'minlashda muhim omil hisoblanadi.

3. Quduqning ekspluatatsion davrini uzaytiradi, chunki uni tez-tez gaz haydash operatsiyalari orqali ishga tushirish pastki suvli kollektor (suvli

gorizont)larda qatlam suvlari filtratsiyasini faollashtiradi va natijada quduq tubi zonasidagi jinslarning barqarorligini pasaytiradi.

Umuman olganda, SFM va dispergatorlarning qo'llanilishi quduqning gidrodinamik holatini yaxshilaydi, suyuqlikni chiqarish samaradorligini oshiradi hamda quduq ishining uzluksizligini ta'minlaydi. Ushbu yondashuv Shimoliy Berdax konining suvlanish bosqichida ham barqaror gaz ishlab chiqarishni davom ettirish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Khalismatov, I., Makhmudov, N. N., Zakirov, R. T., Shomurodov, Sh. E., & Isanova, —. (2021). Gas recovery of Jurassic terrigenous reservoirs of the Sudochiy trough of the Ustyurt oil and gas region. *Technical Science and Innovation*, 3(09), 107–117. <https://uzjournals.edu.uz/btstu/>
- [2] Халисमतов, И. Х., Махмудов, Н. Н., Закиров, Р. Т., & Шомуродов, Ш. Э. (2022). Геологические факторы, влияющие на коэффициент конечной газоотдачи продуктивных горизонтов месторождения Восточный Бердах – Учсай. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 17(2). http://www.ngtp.ru/rub/2022/14_2022.html
- [3] Халисमतов, И. Х., Махмудов, Н. Н., Закиров, Р. Т., & Шомуродов, Ш. Э. (2021). Оценка конечной газоотдачи продуктивных пластов юрских коллекторов по месторождениям Судочьего прогиба. *Газовая промышленность*, (8), 54–60.
- [4] Ли, Дж., Никенс, Г., & Уэллс, М. (2008). Эксплуатация обводняющихся газовых скважин: Технологические решения по удалению жидкости из скважин. Москва: ООО «Премиум инжиниринг».
- [5] Назаров, У. С. (1989). Влияние подвески фонтанных труб на величину потерь давления в стволе, на забое и в призабойной зоне обводняющихся газовых скважин. В *Интенсификация добычи нефти и газа (Сборник научных трудов)*. Ташкент.
- [6] Khalismatov, I., Zakirov, R. T., Zakirov, A. A., & Ganikhanova, M. B. (2020). Features of the operation of watering gas wells in the Shimoliy Berdakh field. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 7(12).
- [7] Халисमतов, И. Х., Ибрагимов, З. С., Дивеев, И. И., и др. (—). Способ удаления жидкости с забоя газовой скважины. Авторское свидетельство СССР, № 962593.
- [8] Халисमतов, И. Х., Дивеев, И. И., Ирматов, Э. К., и др. (—). Способ удаления жидкости с забоя газовой скважины. Авторское свидетельство СССР, № 968350.
- [9] Халисमतов, И. Х., Дивеев, И. И., & Матвеев, В. С. (—). Устройство для удаления жидкости с забоя газовых скважин. Авторское свидетельство СССР, № 1002531.

UO‘K: 553.98:553.7(575.1)

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.21

CHAQILKALON-QORATEPA TOG‘LARIDAGI YAXTON MA‘DANLI MAYDONINING MA‘DAN MAGMATIK TIZIMLARI



Ochilov Iles Saidovich

Dotsent v.b. (PhD), Qarshi davlat
texnika universiteti, Qarshi,
O‘zbekiston
E-mail: ilyos_ochilov@mail.ru



**Axmedov Shovdullo
Shuxratovich**

Dotsent (PhD), Qarshi davlat
texnika universiteti, Qarshi,
O‘zbekiston
E-mail: axmedov1127@mail.ru



Arapov Sobid Zokir o‘g‘li

Magistrant, Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: sobid5959@gmail.com



**Boboqulova Zebo
Bahodir qizi**

Magistrant, Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: bahodirovna9@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada Yaxton magmatik-metallogen tuzilmasining geologik va petrokimyoviy xususiyatlari tahlil qilingan. Asosiy magmatik komponentlar — granitoidlar, lamprofirlar va ishqorli bazaltoidlar bir butun magma hosil bo‘luvchi o‘choq bilan bog‘liq holda shakllangani ko‘rsatilgan. Yaxton kompleksi jinslari volfram va oltinga ixtisoslashgan bo‘lib, sheyelit, pirit, arsenopirit kabi minerallar bilan tipomorf assotsiatsiya hosil qiladi. Mintaqada oltin-volframli skarn va apogranitoid ma‘danlashuv bir vaqtda rivojlangan. Shuningdek, apokarbonat oltin ma‘danlashuvining “intruzivusti” va “teletermal” kichik turlari ajratilgan. Yaxton massivining metallogenetik ahamiyatini va uning Janubiy O‘zbekistondagi minerageniyadagi o‘rnini ochib beradi.

Kalit so‘zlar: Yaxton magmatik-metallogen tuzilmasi, granitoidlar, lamprofirlar, ishqorli bazaltoidlar, magma generatsiyasi, granodiorit, sheyelit, pirit, arsenopirit, volfram ma‘danlashuvi, oltin ma‘danlashuvi, skarn, apogranitoid, apokarbonat metasomatitlar.

РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЯХТАНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ ЧАКЫЛКАЛАН-КАРАТЕПИНСКИХ ГОР

Очилов Илес Саидович

Доцент и.о. (PhD), Каршинский
государственный технический
университет,
Карши, Узбекистан

**Ахмедов Шовдулло
Шухратович**

Доцент (PhD), Каршинский
государственный технический
университет,
Карши, Узбекистан

**Арапов Собид Зокир
угли**

Магистрант, Каршинский
государственный технический
университет,
Карши, Узбекистан

**Бобокулова Зебо
Баходир кизи**

Магистрант, Каршинский
государственный технический
университет,
Карши, Узбекистан

Аннотация. В статье анализируются геологические и петрохимические особенности Яхтонской магматико-металлогенной структуры. Показано, что основные магматические компоненты - гранитоиды, лампрофилы и щелочные базальтоиды сформировались в связи с единым магмообразующим очагом. Породы Яхтонского комплекса специализируются на вольфраме и золоте, образуя типоморфные ассоциации с такими минералами, как шеелит, пирит, арсенопирит. В регионе одновременно развито золото-вольфрамовое скарновое и апогранитоидное оруденение. Также выделены "надинтрузивный" и "телетермальный" подтипы апокарбонатного золотого оруденения. Раскрывает металлогеническое значение Яхтанского массива и его место в минерации Южного Узбекистана.

Ключевые слова: Яхтонская магматико-металлогенная структура, гранитоиды, лампрофиры, щелочные базальтоиды, генерация магмы, гранодиорит, шеелит, пирит, арсенопирит, вольфрамное оруденение, золотое оруденение, скарн, апогранитоид, апокарбонатные метасоматиты.

ORE-MAGMATIC SYSTEMS OF THE YAKHTAN ORE FIELD OF THE CHAKYLKALYAN-KARATEPA MOUNTAINS

Ochilov Ilyos Saidovich

Acting Associate Professor (PhD),
Karshi State Technical University,
Karshi, Uzbekistan

**Akhmedov Shovdullo
Shukhratovich**

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

Arabov Sobid Zakir ugli

Master's student, Karshi State
Technical University,
Karshi, Uzbekistan

**Bobokulova Zebo
Bahodir kizi**

Master's student, Karshi State
Technical University,
Karshi, Uzbekistan

Abstract. Under conditions of increasing depth and complexity of well overhaul, especially during the opening of the second wellbore under conditions of abnormally low reservoir pressure (APDC), the risk of complications arising - absorption, seizure, and contamination of the productive reservoir - increases. The work examines the causes of these complications and proposes approaches to preventing them by using lighter washing fluids with multifunctional additives. Analysis of operational indicators and technical and economic effects was carried out. It has been shown that modified systems can reduce accidents, increase the efficiency of major repairs, and preserve the reservoir's reservoir properties.

Keywords: capital repair of wells, geological and technical complications, lighter washing fluids, clay washing system, lubricating properties, drill string seizures, absorption, modified protective layers, reduction of accidents.

Kirish. Yaxton magmatizm-metasomatizm tuzilmasi (MMT) mintaqadagi magmatik jarayonlar, granitoid va ishqoriy bazaltoidlar formatsiyasining genetik va metallogenetik bog'liqligini yorqin namoyon etadi. Ushbu tuzilma granitoidlar, lamprofirlar va ishqorli bazaltoidlar fazoviy aralashuvi bilan ajralib turadi hamda magma generatsiyalovchi o'choq faoliyati natijasida hosil bo'lgan kompleks intruziv jinslar yig'indisini qamrab oladi. Yaxton kompleksi tarkibidagi jinslar volfram va oltinga boyligi, shuningdek, ularning sheyelitli-sirkonli aksessor minerallashuvi bilan tavsiflanadi. Mintaqadagi magmatizm va ma'danlashuv jarayonlari Karbon oxiri – Mezozoy boshidagi tektonik faollik bilan uzviy bog'liq bo'lib, apokarbonat oltinli va skarn-sheyelitli mineral tuzilmalarning shakllanishiga sabab bo'lgan. Shu tariqa, Yaxton MMT mintaqaviy magmatizm evolyutsiyasi va endogen ma'danlashuv jarayonlarini o'rganishda muhim geologik va metallogenetik ahamiyat kasb etadi.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. O'zbekistonda karbonat jinslardagi oltin ma'danlashuvi, qoidaga muvofiq, alyumosilikatli muhitda mahalliy qilishgan ma'danlashuvni

o'rganishga yo'naltirilgan geologik-qidiruv ishlarini olib borish jarayonida yo'l-yo'lakay tadqiqot qilingan. Bunday o'rganishlar umumlashtirilib (Сой В.Д., Королева И.В. и др. Нетрадиционный апокарбонатный тип золотого оруденения Узбекистана. 2011), turli mintaqalar bo'yicha (Sharqiy O'zbekistonning Olmaliq va Angren ma'danli rayonlari; Markaziy Qizilqumda asosiy ma'danli maydon; Nurota va Zirabuloq tog'lari; Janubiy O'zbekistonda alohida maydonlar) ma'lumotlar tizimlashtirilgan. Bunda karbonat jinslar vulqon svitalarining tarkibida (Chotqol-Qurama mintaqasi) yoki terrigen hosilalar orasida uchragan vaziyatlar ko'rib chiqilgan. Markaziy Qizilqum, Janubiy Nurota, Janubiy O'zbekistonda, Zirabuloq-Ziaetdin tog'lari va Janubiy O'zbekistonda Chakilkalyan tog'larida (Ochilov I.S.) oltin ma'danlashuvining tarqalish qonuniyatlari tahlil qilish natijasida oltin va yo'ldosh minerallashuv to'planishi uchun karbonat jinslarning muhim ahamiyati aniqlangan.

Natijalar. Birinchi turdagi MMT uchun quyidagi asosiy elementlar xarakterli: granitoidlar, lamprofirlar va ishqorli bazaltoidlarning fazoviy aralashuvi bilan asosiy pozitsiyalarda joylash-

ganligi; magmatik hosilalarning aniq zonalarda tor to‘yinuvchi kanallarga ega bo‘lgan mayda granitoid intruziyalar va lamprofirlar, kamptonit va monchikitlarning dayka to‘plamlarini hosil qilib tarqalishi; granitoid hosilalar fraksion kristallanishi eritmani oraliq kameralarda granitoidlarga ajralishiga va ishqorli bazaltoidlarning kechki daykalar ko‘rinishiga olib keladigan, taxminan umumiy magma generatsiyalovchi o‘choqqa ega.

Yaxton MMTning maydoni chuqurlikda yotgan o‘choqli tuzilmaning evolyutsiyasi boshlang‘ich bosqichlarda (C₃-P₁) oraliq kamerada yaxton kompleksi granitoidlarining, oxirgilarida esa – ishqorli bazaltoidlar va lamprofirlar formatsiyasi jinslaridan (T₂₋₃) iborat dayka to‘plamlarini hosil bo‘lishiga olib kelgan, magma generatsiyalovchi o‘choq bilan ta’sirlashish zonasini qamrab oladi (1-jadvalga qarang).

Yaxton kompleksining asosiy hajmini biotit-rogoobmankali granitoidlar egallaydi, fatsial turlari adamellitlar va porfirsimon kvarsli dioritlar hisoblanadi. Kompleksning tomirli jinslari granodiorit-porfirlar, granit-porfirlar, aplitlar va pegmatitlar bilan namoyon bo‘lgan.

Yaxton kompleksining jinslari yaqqol volframli geokimyoviy ixtisosga ega. Asosiy fazaning o‘zgarmagan granodioritlaridagi volframning miqdori 59 g/t, granitlar – granodioritlargi o‘rtacha miqdori 2,2-1,7 g/t. Aksessor ixtisoslashuvi – sheyelit-sirkon-sfen-apatitli.

1-jadval

Chakilkalyan tog‘lari ma‘danli formatsiyalarining genetik qatori va apokarbonatga yo‘ldosh endogen ma‘danlashuvning tavsifi

Ma‘dan formatsiyasi	Mineral turlari	Asosiy porfirogenik mineral assotsiatsiyalari	Iytilgan jislar	Metasomatitlarning asosiy turlari	Kon. ma‘dan namoyan bo‘lishi
Karbonat-kvarts		Kalzit-kvarts, kalzit-epidot-kvarts, aiskvart-pirit-arsenopit, An-kvarts-vanna dno-salkoni	Chokosidlar, dolomitlar	Ko‘p bosqichli kalbit metamorfizmlar	Shuntar, Osetnar
Oltin-sulfid-kvarts	Juda kamroq		Qumochlar va g‘avvalar, kremniyli slazlar	Kalbit-senit-kvartl va Nefrit-arsit-ivartli metasomatitlar	Aktin
	Kvartsitli	An-kvarts-pirit-arsenopit	Qumochlar, g‘avvalar, metamorfik slazlar	Ankeni kalbit senit va kvartsli o‘zgaruvchan talpilotlar tashkil topgan metasomatitlar	Kvartzar
Oltin-sulfid-sulfid-kvarts	O‘rtacha miqdori	An-kvarts-pirit, kvarts-pirit, marmal-sheylit	Mermeritli slazlar sistemamli qizilchil matritsi bo‘yali	Senit-kvartli matritsi metasomatitlar	Qizilto‘raq
	An-sheylit-arsenopit, An-sheylit-pirit-arsenopit	An-kvarts-pirit-arsenopit	Xo‘jalangan vanna slazlar, kvarsli slazlar, kremniyli slazlar	Nefrit-senit-kvartli metasomatitlar	Shuntar
Skand-sheylit-apatit	An-sheylit-pirit	An-sheylit-vanna-pirit, aiskvart-pirit-arsenopit-pirit	Bir-aralbit turidagi granodioritlar	Proksen-diorit-kvartli aiskvartli matritsi ko‘p-komponentli metasomatitlar	Yaxton-II
	An-sheylit-pirit	An-sheylit-pirit	Granit-sulfid-sheylit skaratli	Xilit-epidot-ivartli aiskvartli-kvarts(vanna)-silikatli matritsi apokarbonatli metasomatitlar	Yaxton-I

Kompleks jinslarining o‘ziga xos xususiyati aksessor sheyelitning dioritlar va kvarsli dioritlar (30 g/t) – asosiy fazaning granodioritlari (55 g/t) – daykalarining granodioritlari (95 g/t) – magmatismning oxirgi fazasi granodiorit-porfirlar (105 g/t)

qatorida miqdorini ortib borishi bilan xarakterlanadigan volframga to‘liq mineral-aksessor ixtisoslashuvi hisoblanadi.

Oltinning o‘rtacha miqdori Yaxton massivida 2,2 mg/t, granodioritlar uchun klark ma‘lumotlaridan birmuncha yuqori (1,2 mg/t). Yaxton intruzivining tog‘ jinslarida Ag ning miqdori 0,01 dan 0,2 g/t gacha o‘zgaradi, massiv bo‘yicha o‘rtacha miqdori – 0,052 g/t, bu granodioritlar uchun mazkur elementning klarkiga teng.

Permning yakunida va keyin mezozoyda mintaqani rivojlanishining plitaichi bosqichida, ehtimol magma generatsiyalanish o‘chog‘ining chuqurlashishi hisobiga, asosan dayka shaklida namoyon bo‘lgan, mantiya magmatizmining hosilalari paydo bo‘ladi. Yaxton MMT ni hosil qilgan daykalar uchta asosiy seriyalarning vakillaridan tashkil topgan maydonni (to‘dani) hosil qiladi: granitoidli (aplitsimon granit-porfirlar, leykogranitlar, mada donali granitlar, granodiorit-porfirlar), lamprofirli (kersantitlar, spessartitlar, vomezitlar dioritli porfirritlar bilan assotsiatsiyada), ishqorli bazaltoidlar (kamptonitlar, monchikitlar).

Tog‘ jinslari qatorida: daykali granitoidlar – lamprofirlar – ishqorli bazaltoidlar miqdori klarklardan oshadigan elementlarning (Te, Bi, Se, As, Sb, Ag, W) mavjudligi qayd qilingan. Mazkur elementlar ma‘dan hosil qiluvchi hisoblanadi va ham oltinli, ham volframli ma‘danlashuvning tipomorf mahsuldor assotsiatsiya tarkibiga kiradi.

Chakilkalyan tog‘larining markaziy qismini geologik tuzilishi va metallogeniyasini tushunish uchun Yaxton ma‘dan maydonida sanoqli daykalarni, Janubiy O‘zbekistonning chegaradosh hududlarida esa ham daykalarni, ham diatremalarni hosil qilgan, quyi mezozoy traxidoleritlar va kampto-monchikitlar formatsiyasini tashkil etgan ishqor-bazaltli magmatizmning mahsulotlari muhim ahamiyatga ega.

Formatsiyaning kamptonitlari, kamptodoleritlari, monchikitlar va esseksit-diabazlari I.V.Mushkin tomonidan ajratilgan mintaqaviy tarqalgan daykalar va portlash trubkalari sifatida, ishqoriy bazaltoidlar va lamprofirlarning (T₂₋₃) janubiy – tyanshan kompleksiga birlashtirilgan.

Kompleksning jinslari kimyosi bo‘yicha kremnezem, glinozem, ishqorlaning (natriyning kaliydan ustunligi bilan) past va titan, magniy va temirning yuqori miqdori bilan xarakterlanadi.

Daykalarining jinslari (yondosh maydonlarning diatremlari ham) analsim va meyoriy nefelinning mavjudligi bo'yicha kalinatriyli seriyaning ishqoriy bazaltoidlariga kiritilishi mumkin.

Kompleksning jinslari Se, Re, As, Ag, W, Mo, Ni, Au ning yuqori miqdoriga ega hamda magmatizmning boshlang'ich bosqichi jinslari sifatida aksessor jihatdan volframga (o'zgarmagan kamptonitlarda sheyelitning miqdori – ko'p uchraydigan belgi) va oltinga ixtisoslashgan.

Kompleks hududning barcha paleozoy bo'linmalarini yorib o'tganligi tufayli, uning nisbatan kechgi magmatik taksoni hisoblanadi. Janubiy Gissarda mutloq yoshini o'lchash bo'yicha ma'lumotlar vaqt oralig'ini 223-245 mln. yil xarakterlaydi, bu Tojikiston hududida geologik asoslangan o'rta- yuqori trias yoshi haqidagi tasavvurni rad etmaydi.

Kompleksning petrokimyoviy xususiyati: jinslarning SiO₂ va Al₂O₃ oxirigacha to'yinmaganligi; kaliyning yetakchi rolida yuqori ishqoriyligi. Umumiy temirliyligi erta bo'linmalarda 48% dan kechkilarida 76% gacha oshadi.

Aksessor minerallashishning turi sheyelitli apatit, magnetit va flyuorit bilan. Aksessor sheyelitning miqdori kersantitlar va spessartitlarda 34-36 g/t.

Turli tarkibli daykalarda miqdori klarklardan yuqori bo'lgan doimiy (skvoznix) elementlarning mavjudligi qayd qilingan. Bular Te (56-110), Bi (5,9-31,4), Re (8,4-16,9), Ta (1,4-11,3), As (7,7-9,1), Ag (3,2-8,9), W (2,0-3,8), Au (1,7-2,1) – qavslarda klarklar-konsentratsiyasining ko'rsatkichlar oralig'i. Keltirilgan elementlardan ko'pchiligi (Bi, Te, W, Au, As, Ag) ma'dan hosil qiluvchi hisoblanadi va apogranitoid oltin ma'danlashuvining tipomorf mahsuldor assotsiatsiyasi tarkibiga kiradi.

Qo'shimcha ravishda, kersantit – vomezit – kamptonit qatorida Se (9,6-29,3), Ni (2,0-11,1), Mo (1,2-3,0) kabi elementlarning to'planganligini ta'kidlash lozim.

Yaxton ma'danli maydonning hududi granitoid, lamprofir va ishqor-bazaltli magmatizm mahsulotlarining fazoviy joylashganligi hamda namoyon bo'lgan flyuid – eksploziv brekchilarning mavjudligi bilan belgilanadi.

Yaxton MMT ning metallogenetik xususiyati Yaxton konining ikkita yarusida maksimal

namoyon bo'lgan oltinli skarn-sheyelit va oltin apogranitoid ma'danlashuvni fazoviy birlashishi hisoblanadi.

Yaxton MMT ning maydonida apokarbonat oltin ma'danlashuvi chekka qismlarda joylashgan va ikkita kichik turi bilan namoyon bo'lgan: "intruzivusti" (A) va "teletermal" (B). A kichik turi maydonning janubiy-sharqiy qismida namoyon bo'lgan va karbonat jinslarda Au ning yuqori miqdoriga ega (8,0 g/t gacha), Ag, As, W va Sn lar yo'ldosh to'plangan kvarts-tomirli hosiladan iboratligi bilan xarakterlanadi. B kichik turi maydonning g'arbiy qismi uchun xarakterli. Uning o'ziga xos xususiyati Ng, Sb, As va Rb ning keng to'plamlari bilan birga boradigan, kinovarli minerallashuvning ekstensiv tarqalishi hisoblanadi.

Muhokama. O'tkazilgan tadqiqotlar Yaxton magmatizm-metasomatizm tuzilmasining geologik va metallogenetik rivojlanishini chuqur o'rganishga qaratilgan. Tahlillar natijasida granitoidlar, lamprofirlar va ishqorli bazaltoidlarning fazoviy aralashuvi, ularning yagona magma o'chog'idan kelib chiqqanligi hamda fraksion kristallanish jarayonlari orqali shakllanganligi aniqlangan. Magmatik jinslarning volfram va oltin bo'yicha geokimyoviy ixtisoslashuvi, sheyelit-sirkonli aksessor minerallashuv bilan birga, Yaxton kompleksining metallogenetik potensialini tasdiqlaydi. Shuningdek, o'rganilgan daykalar tarkibidagi ma'dan hosil qiluvchi elementlarning (W, Au, Bi, Te, As, Ag) to'planishi endogen ma'danlashuv jarayonlarining mintaqaviy xususiyatini ochib beradi. Olingan natijalar Yaxton MMT mintaqasida oltinli va volframli konlarning shakllanish mexanizmini tushunishda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.


Xulosa. Yaxton magmatizm-metasomatizm tuzilmasi (MMT) O'zbekiston janubidagi muhim geologik kompleks bo'lib, granitoidlar, lamprofirlar va ishqorli bazaltoidlarning fazoviy aralashuvi bilan ajralib turadi. U Karbon oxiri – Mezozoy boshidagi tektonik faollik natijasida shakllangan va oltin hamda volframli ma'danlashuv bilan bog'liq. Kompleks jinslari sheyelit-sirkonli aksessor minerallashuvi, yuqori W va Au konsentratsiyasi bilan tavsiflanadi. Yaxton MMT tarkibidagi intruziv jinslar fraksion kristallanish jarayonlari natijasida hosil bo'lib, apogranitoid va skarn-sheyelitli oltin ma'danlari bilan metallogenetik jihatdan yaqin

bogʻlangan. Shu bois, Yaxton tuzilmasi minta- | maʼdanlashuv mexanizmlarini oʻrganishda asosiy
qaning magmatik evolyutsiyasi va endogen | ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR ROʻYXATI

- [1] Бакулин, Ю. И., Буряк, В. А., Пересторонин, А. Е. (2001). Карлинский тип золотого оруденения (закономерности размещения, генезис, геологические основы прогнозирования и оценки). Хабаровск: ДВИМС.
- [2] Бискэ, Ю. С. (1996). Палеозойская структура в истории Южного Тянь-Шаня. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ.
- [3] Конеев, Р. И. (2006). Наноминералогия золота. Санкт-Петербург: DELTA.
- [4] Константинов, М. М. (2000). Золоторудные месторождения типа Карлин и критерии их выявления. Руды и металлы, (1), 70–76.
- [5] Ахмаджанов, Б.А. (2016). Чақилкалон тоғларидаги Яхтон конининг маъданлашув хусусиятлари. В Материалы международной научно-технической конференции «Интеграция науки и практики...» (с. 23–24). Ташкент.
- [6] Давинов, Э.А., & Жураев, М. Н. (2016). Морфология рудных тел золото-вольфрамового месторождения Широкий... В Материалы международной научно-технической конференции «Интеграция науки и практики...» (с. 240–242). Ташкент.
- [7] Даутов, А. (1974). Минералого-геохимические критерии условий формирования... (Дисс. канд. геол.-мин. наук). Ташкент: ИГГ АН РУз.
- [8] Жўраев, М. Н. (2016). Чақил-Калон тоғининг жанубий қисмидаги Қизилтуруқ қонида олтин-вольфрам маъданлашувнинг ўзига хос хусусиятлари. ТошДУ хабарлари, 240–244.
- [9] Летников, Ф. А., & Вилор, Н. В. (1981). Золото в гидротермальном процессе. Москва: Недра.
- [10] Очиллов, И. С. (2020). Чақилкалон мегаблоқини геологик тузилиши ва ... алт. маъданлашуви. В Материалы конференции «Ўзбекистондаги илмий амалий тадқиқотлар» (с. 17–20). Ташкент.
- [11] Очиллов, И. С. (2021). Чақилкалян мегаблоқининг Карлин типидagi апокарбонатли олтин минераллашуви. В Материалы Международной конференции... (с. 31–34). Андижон.
- [12] Очиллов, И. С., & Эшмуродов, О. Р. (2021). Аката майдонининг Карлин типидagi апокарбонатли олтин минераллашуви. В Материалы Международной конференции... (с. 50–53). Андижон.
- [13] Очиллов, И. С. (2021). Чақилкалян тоғларидаги апокарбонат олтин маъданлашувининг минералогик–геохимёвий хусусиятлари. В Oriental Renaissance... (с. 180–184). АҚШ.
- [14] Очиллов, И. С., & Ярбобоев, Т. Н. (2021). Прогнозно-поисковый комплекс... Чақылкалянских гор. В Материалы международной конференции «Ўрта Осиё геологияси...» (с. 45–49). Навоий.
- [15] Султонов, Ш. А. (2020). Петрохимические и геохимические особенности дайковых серии северной части Чақылкалянского мегаблока. Техника, (3), 24–33.
- [16] Турапов, М. К., Ярбобоев, Т. Н., & Очиллов, И. С. (2021). Основные особенности геологического строения Чақылкалянских гор... Annali d'Italia, (24), 22–35.
- [17] Ярбобоев, Т. Н., Очиллов, И. С., Султонов, Ш. А., & Хушваков, Б. А. (2020). Минералого-геохимические особенности... Горный вестник Узбекистана, (3), 27–31.
- [18] Ochilov, I. S., & Usmonov, K. M. (2023). Chakilkalyan togʻlari apokarbonat oltin maʼdanlashuvining istiqbollari. Academic Research in Educational Sciences, 4(10). <https://ares.uz/>
- [19] Ochilov, I. S., & Usmonov, K. M. (2024). Chakilkalyan togʻlaridagi Akata maydonida apokarbonat oltin maʼdanlashuvining joylashish sharoitlari. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 2(1). <https://zenodo.org/records/10816453>

УДК: 553.981

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.23

**ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ПРОДУКТИВНЫХ ГОРИЗОНТОВ НИЖНЕ-СРЕДНЕ ЮРСКИХ
ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДИВАЛКАК
(РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН)**



Аюпова Нодира Аббос кизи

Преподаватель, Университет геологических наук, Ташкент, Узбекистан

E-mail: nodiraxon1991@mail.ru

ORCID ID: 0009-0000-3203-4932

Аннотация. Рассмотренное в статье месторождение Дивалкак расположено в Испанлы-Чандырском поднятии, продуктивный разрез представлен карбонатными юрскими и терригенными отложениями нижне-среднеюрского возраста. Геологическое моделирование терригенных отложений имеет свои особенности, связанные с природой этих отложений и их изменчивостью и характеризуются сложной литологической неоднородностью и сложной геометрией. Моделирование требует учета этих факторов, а также применения специальных методов и подходов. В данной работе представлена методика построения трехмерной цифровой геологической модели продуктивных горизонтов XV-HP и XVIII газоконденсатного месторождения Дивалкак. Описаны этапы сбора, обработки и интерпретации геолого-геофизических данных, структурное моделирование, построение литологической модели и моделирование фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС). На основе различных вариантов построения вариограмм с распределением фаций и распространение пористости по изучаемому объекту получен куб пористости. Результативная геологическая модель наиболее достоверно отражает внутреннее строение коллекторов и позволяет глубже понять седиментационные характеристики пластов и петрофизические отношения.

Ключевые слова: геологическая модель, Бухаро-Хивинский нефтегазоносный регион, нижне-среднеюрские терригенные отложения, межскважинная корреляция, литологически экранированные залежи, литологическая модель, структурный каркас, стохастическое моделирование.

**DIVALKAK KONINING QUYI-O‘RTA YURA DAVRI TERRIGEN
YOTQIZIQLARINING SAMARALI GORIZONTLARI BO‘YICHA RAQAMLI
GEOLOGIK MODELNI QURISH (O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI)**

Ayupova Nodira Abbos qizi

Geologiya fanlari universiteti o‘qituvchisi, Toshkent, O‘zbekiston

Аннотация. Мақоллада ко‘риб чиқилган Дивалкак кони Испанли-Чандир ко‘тарилшуда joylashgan bo‘lib, unda foydalanishga yotqizilgan qatlamlar karbonatli yura va quyi-o‘rta yura davri terrigen tog‘ jinslari bilan ifodalangan. Terrigen to‘planmalarining geologik modellashtirilishi ushbu jinslarning tabiati va

o'zgaruvchanligi bilan bog'liq xos xususiyatlarga ega bo'lib, ular murakkab litologik nomutanosiblik va murakkab geometriya bilan xarakterlanadi. Modellashtirishda ushbu omillar hisobga olinishi, shuningdek, maxsus usul va yondashuvlar qo'llanilishi talab etiladi. Ushbu ishda Divalkak gaz-kondensat konining XV-NR va XVIII samarali gorizontlari uchun uch o'lchamli raqamli geologik modelni yaratish metodikasi taqdim etilgan. Geologik-geofizik ma'lumotlarni to'plash, qayta ishlash va talqin qilish bosqichlari, struktural modellashtirish, litologik modelni qurish va filtrlash-sig'imlilik xossalari (FSX) modellashtirish tushuntirilgan. Fatsiyalar tarqalishi va ko'plab variogramma qurish variantlari asosida o'rganilayotgan obyekt bo'ylab g'ovaklik tarqalishi hisobga olinib, g'ovaklik kubi olindi. Yaratilgan geologik model kollektorlarga xos ichki tuzilmani eng aniq ifoda etgan holda, qatlamlarning cho'kindi xususiyatlari va petrofizik munosabatlarini chuqurroq tushunish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: geologik model, Buxoro-Xiva neft-gaz hududi, quyi-o'rta yura to'plam (terrigen) tog' jinslari, quduqlararo korrelyatsiya, litologik to'siqlangan konlar, litologik model, struktural karkas, stoxastik modellashtirish.

CONSTRUCTION OF A DIGITAL GEOLOGICAL MODEL OF THE PRODUCTIVE HORIZONS OF LOWER TO MIDDLE JURASSIC TERRIGENOUS DEPOSITS OF THE DIVALKAK FIELD (REPUBLIC OF UZBEKISTAN)

Ayupova Nodira Abbas kizi

Teacher at the University of Geological Sciences, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *The Divalkak field discussed in the article is located in the Ispanly-Chandyr uplift. The productive section is represented by Jurassic carbonate and Lower to Middle Jurassic terrigenous deposits. Geological modeling of terrigenous deposits has its own specific features due to the nature of these sediments and their variability. These deposits are characterized by complex lithological heterogeneity and intricate geometry. Modeling requires consideration of these factors, as well as the use of specialized methods and approaches. This study presents a methodology for constructing a three-dimensional digital geological model of the productive horizons XV-NR and XVIII of the Divalkak gas condensate field. The stages of geological and geophysical data collection, processing, and interpretation are described, including structural modeling, lithological model construction, and modeling of reservoir properties (porosity and permeability). Based on various variogram scenarios, with facies distribution and porosity propagation across the studied area, a porosity cube was obtained. The resulting geological model most accurately reflects the internal structure of the reservoirs and provides deeper insight into the sedimentary characteristics of the formations and petrophysical relationships.*

Keywords: *geological model, Bukhara-Khiva oil and gas region, Lower to Middle Jurassic terrigenous deposits, interwell correlation, lithologically trapped reservoirs, lithological model, structural framework, stochastic modeling.*

Введение. В настоящее время, с учетом возрастающей сложности строения разрабатываемых нефтегазовых залежей возрастает значимость применения современных цифровых технологий для комплексной интерпретации геолого-геофизических данных. Одним из таких инструментов является трёхмерное геологи-

ческое моделирование, позволяющее формировать детальные пространственные модели строения залежей и прогнозировать поведение пластов в процессе их эксплуатации. В отличие от традиционных геологических схем, трёхмерные модели обеспечивают возможность динамического обновления структуры место-

рождения с учётом новых данных, получаемых в процессе бурения и эксплуатации. Это позволяет значительно повысить точность прогноза поведения пластов, оптимизировать размещение скважин и снизить неопределённость при принятии технологических решений.

В условиях роста мирового энергопотребления и истощения традиционной сырьевой базы одной из приоритетных задач нефтегазовой отрасли остаётся прирост запасов углеводородов [1]. Ускоренное развитие нефтегазодобычи в Узбекистане требует повышения эффективности поисково-разведочных работ, направленных на стабильное пополнение промышленной ресурсной базы. В этом контексте особый интерес представляет юрская терригенная формация Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона Западного Узбекистана [2]. Особенности её геологического строения: сложный рельеф, сформированный в условиях длительного перерыва в осадконакоплении (от перми до средней юры), а также наличие бессернистого природного газа определяют её высокую промышленную значимость.

Газоконденсатное месторождение Дивалкак в административном отношении расположено в пределах Алатского района Бухарской области Республики Узбекистан. В тектоническом отношении расположено в пределах Испанлы-Чандырского поднятия, являющихся одним из крупных тектонических элементов Чарджоуской ступени Амударьинской впадины. По структурной поверхности надсолевых отложений рассматриваемая площадь расположена по моноклинали, представляющей южное крыло Испанлы-Чандырского поднятия, которое полого погружаясь с северо-востока на юго-запад переходит в Кушабский прогиб. На фоне общего моноклинального погружения Дивалкакская площадь обособляется в виде небольшой брахиантиклинали высотой до 15 м, которая отделяется от расположенного к северу Кокчинского структурного носа неглубоким узким прогибом субширотного простирания.

Данное месторождение характеризуется весьма сложным геологическим строением. В разрезе указанных горизонтов выделены пласты

коллекторов вмещающие небольшие по размерам изолированные между собой в плане и разрезе самостоятельные залежи газа. В пределах месторождения Дивалкак выделяются два продуктивных горизонта: XV-НР – в карбонатных отложениях верхней юры и XVIII – в терригенной толще среднеюрского возраста. Последний в свою очередь разделен на четыре пачки: XVIII-1, XVIII-2, XVIII-3 и XVIII-4, вмещающие газоносные пласты: 12, 17, 18, 20, 21 и 24, которые представляют собой самостоятельные объекты. Это 7 продуктивных пластов, различающихся глубинами залегания, пластовыми давлениями, запасами газа и конденсата, а залежь в XV-НР горизонте и составом газа. Продуктивные горизонты характеризуются небольшой толщиной, невыдержанностью в плане и разрезе, резкой литологической изменчивостью, вплоть до полного выклинивания проницаемых разностей.

Верхняя часть разреза представлена рифогенным комплексом пород XV-НР, XV-Р, средняя часть – XV-ПР, XV-а, XVI – включает в себя прослой терригенных пород, нижняя часть разреза сложена терригенными отложениями XVII, XVIII, XIX горизонтов.

XV-НР. Породы, слагающие горизонт, представлены серыми, местами зеленовато-серыми известняками, плотными, крепкими, с прослоями карбонатно-ангидритовых пород, отмечаются отдельные маломощные прослой глинистых и песчаных пород. Диапазон изменения пористости для пород-неколлекторов составил от долей процента до 8 %. Для пород с трещинной проницаемостью этот диапазон совпадает, а для пород-коллекторов с гранулярным типом диапазон изменения составил от 6 до 17 %.

XVIII. Терригенные отложения XVIII горизонта имеют монотонное строение и сложены, в основном, темно-серыми, почти черными аржиллитами, алевролитами, мелкозернистыми песчаниками, с прослоями серых и светло-серых, средне-крупнозернистых песчаников и гравелитов.[3]. Газоносные пласты сложены разномасштабными песчаниками, преимущественно крупнозернистыми, в составе которых входят зерна гравелитной размерности и гравелитами. Обломочный материал

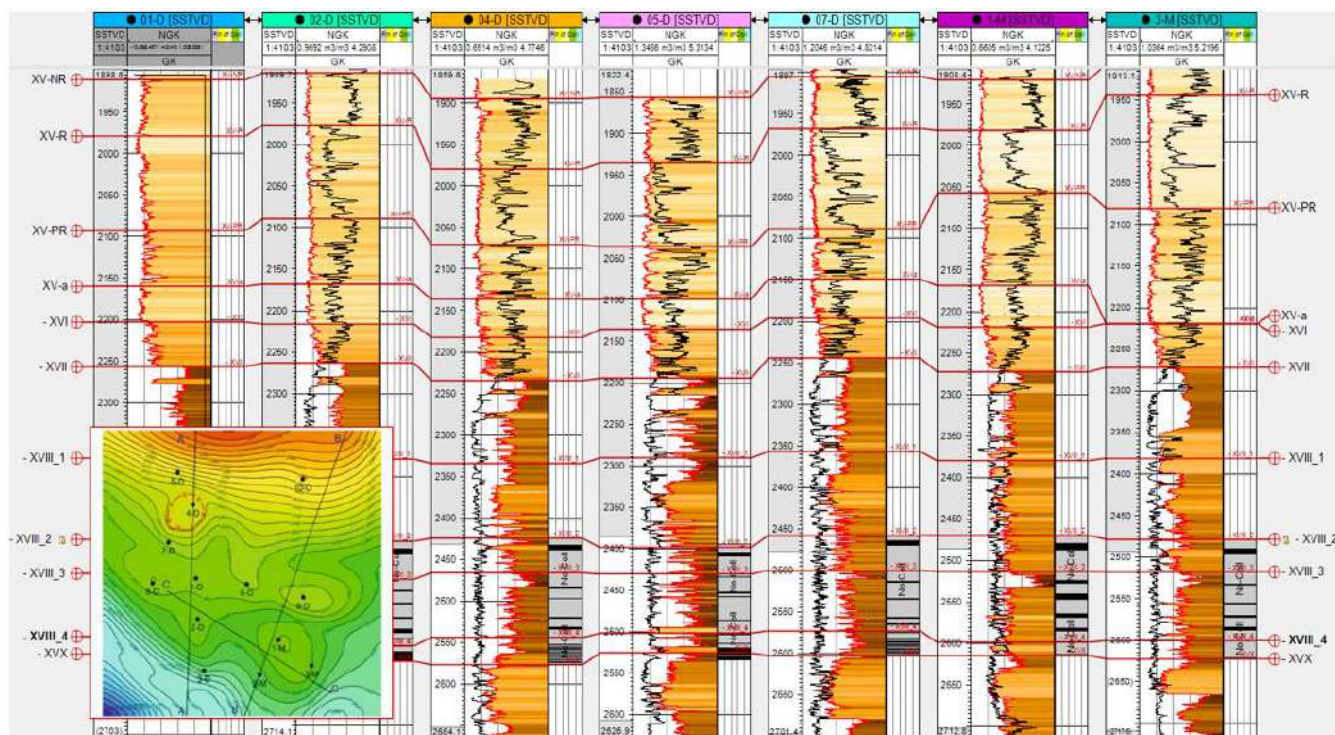


Рис.1. Межскважинная корреляция разреза по линии А-А.

представлен, в основном, зернами кварца, обломками пород, полевыми шпатами. В разрезе пачек отмечаются пласты проницаемых пород, в пачке XVIII-2 – 12, в пачке XVIII-3 – 17, 18, 20, 21, в пачке XVIII-4 – 24.

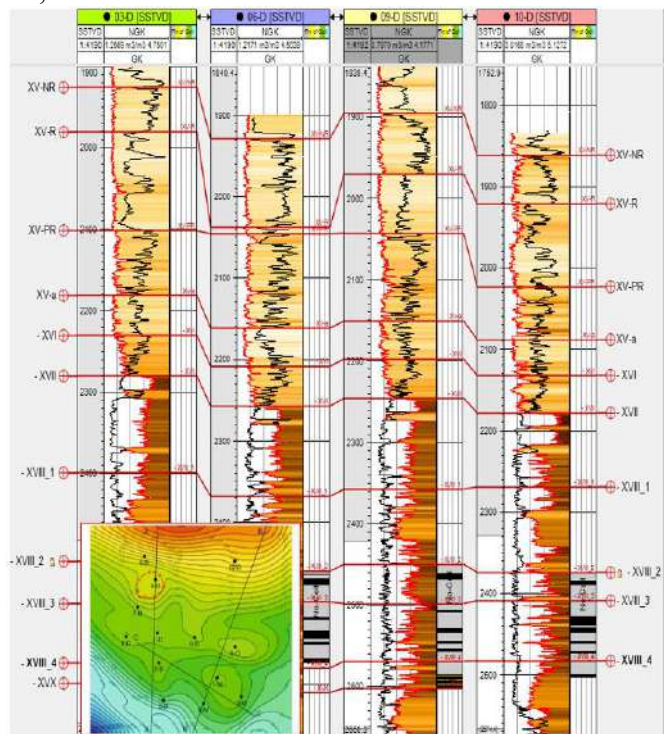


Рис.2. Межскважинная корреляция разреза по линии В-В.

Корреляция терригенных отложений — это один из ключевых этапов геолого-геофизического моделирования, который позволяет установить стратиграфическое и литологическое соответствие пластов между разными скважинами.

Межскважинная корреляция включала в себя маркирование границы, корректировки скважинной корреляции отражающих горизонтов и внутренних границ по юрским отложениям. Основным параметром для разделения интервалов принята схожесть кривых гамма каротажа и сопротивления, так же, в некоторых случаях, при неоднозначных определениях границ отбивок, применялись нейтронный и акустический каротажи (Рисунки 1 и 2).

Методология построения геологической модели. Построение детальной геологической модели содержит несколько этапов [4]:

- сбор данных и контроль качества;
- загрузка, привязка и оцифровка структурных карт;
- загрузка исходных данных (координаты устьев скважин, инклинометрия, las-файлы и т.д.) в проект;
- структурное моделирование;

- построение трёхмерной геологической сетки;
- осреднение скважинных данных;
- построение литологической модели;
- построение модели пористости и насыщения.

Структурное моделирование. Структурные поверхности по кровли построены методом схождения от кровли горизонтов для продуктивного горизонта XV-HP и XVIII (кровли коллектора 12,18,17,20,21,24 газоносного пласта), скорректированы по имеющимся стратиграфическим отбивкам. (Рис 3). Внешние контуры по абсолютной отметке ГВК представлены в таблице.

Таблица 1.

Уровни ГВК принятые в 3D геологической модели

	ГВК, м
12-пласт	-2438,17
17-пласт	-2521,73
18-пласт (район скв №1Д)	-2542,92
18-пласт (район скв №9Д)	-2533,47
18-пласт (район скв №1М)	-2546,33
20-пласт (район скв №2Д)	-2571,12
20-пласт (район скв №9Д)	-2547,06
20-пласт (район скв №1М)	-2568,7
21 пласт	-2587,87
24 пласт	-2613,85

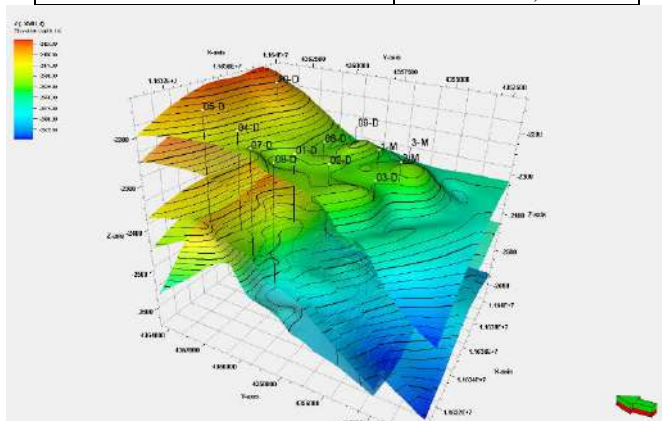


Рис.3. Модель структурного каркаса месторождения Дивалкак.

Построение геологической сетки. Размерность трехмерной сетки составила 127×207×102 ячеек, всего 3 593 520 ячеек. Шаг по горизонтали – 50×50 м, что соответствует средней плотности скважинной сетки. Для всех горизонтов был выбран пропорциональный тип разбивки. Количество слоев для каждого

горизонта было выбрано с целью оптимального ремасштабирования кривой литологии на геологическую сетку.

Литологическая модель. Литологическая модель базировалась на дискретной кривой «коллектор-неколлектор», сформированной с помощью метода «Most of». Радиус влияния скважин подбирался с учетом межскважинного расстояния и обеспечивал сохранение объемных долей коллекторов в модели (Рис.4).

Контроль качества переноса осуществлялся путём визуального сопоставления значений литологии в разрезах 3D-грида и исходных данных ГИС. Сходимость толщин коллекторов подтверждена высокой точностью осреднения.

Моделирование фильтрационно-емкостных свойств. Осреднение параметров. Осреднение параметров (пористость, насыщенность) выполнялось на основе литологической модели. Для осреднения применялся арифметический метод с использованием параметра «Use bias».

Стохастическое моделирование. Моделирование ФЕС проводилось методом **Gaussian Random Function Simulation**. Распределение параметров осуществлялось только в ячейках, отнесенных к коллекторам. Основными источниками информации послужили данные РИГИС по 13 скважинам (Рис 5).

Вариографический анализ показал отсутствие чётких латеральных корреляций, в то время как вертикальные корреляции оказались более устойчивыми.

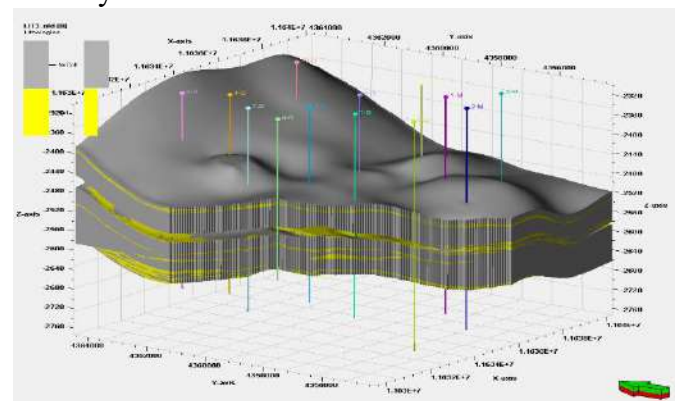


Рис.4. Трёхмерное сечение куба литологии в продуктивной части.

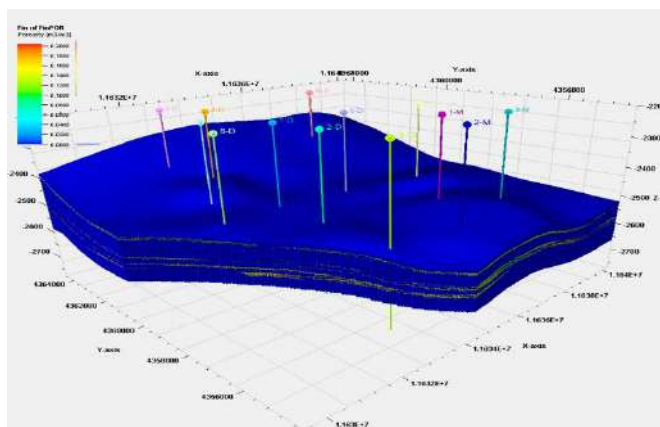


Рис.5. Трехмерное сечение куба пористости.

Результаты моделирования. Контроль достоверности модели осуществлялся путём сравнения минимальных, максимальных и средних значений параметров, полученных по модели и из исходных данных ГИС [5]. Погрешности осреднения оказались в пределах допустимых значений.

Обсуждение и выводы. Цифровое моделирование геологических объектов является основополагающим этапом в прогнозировании продуктивности и разработке месторождений. В рамках данной работы разработана геологическая модель продуктивных горизонтов XV-HP и XVIII место-

рождения Дивалкак, расположенного в Республике Узбекистан. Модель базируется на обширном комплексе геолого-геофизических данных, включая результаты ГИС, структурные карты, стратиграфические разбивки и каротажные материалы. Модель включает:


- структурный каркас с 7 выделенными горизонтами;
- литологическое распределение коллекторов и неколлекторов;
- 3D распределение пористости и газонасыщенности.

Сопоставление данных 3D модели и результатов интерпретации ГИС показало высокую сходимость и подтверждает корректность выполненных расчетов. Полученная модель может быть использована для дальнейшего моделирования разработки, оценки запасов и построения гидродинамической модели месторождения. Также проведенные исследования способствуют прогнозированию поведения пласта, который используется при планировании, эксплуатации и при диагностике работы пласта насыщенным углеводородами на всех стадиях разработки месторождения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бакиров, А. А. (1976). Теоретические основы и методы поисков и разведки скоплений нефти и газа. Москва: Высшая школа. 415 с.
- [2] Бабаджанов, Т. Л., Черкашина, Л. Г., & Рубо, В. В. (1988). Новые данные о перспективах газоносности терригенных юрских отложений Западного Узбекистана. Геология нефти и газа, (2), 21–24.
- [3] Евсеева, Г. Б. (2015). Литолого-фациальные особенности и фильтрационно-емкостные свойства терригенных отложений юры Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона. SOCAR Proceedings, (2), 4–9.
- [4] Закревский, К. Е. (2009). Геологическое 3D моделирование. Москва: ООО ИПЦ МАСКА.
- [5] Закревский, К. Е., Майсюк, Д. М., & Сыртланов, В. Р. (2008). Оценка качества 3D моделей. Москва.

UDC: 528.88:550.8(575.1)

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.38

RESULTS DERIVED FROM AUTOMATED AND VISUAL INTERPRETATION OF SATELLITE IMAGERY (EXAMPLE OF THE KUMBOGUT PROSPECTIVE AREA)



Khasanov Numonjon Rakhmatovich

Junior Researcher, PhD, "Mineral Resources Institute", Tashkent, Uzbekistan
E-mail: numon.raxmatovich@mail.ru

Abstract. This paper presents the results of automated interpretation of multispectral satellite imagery using the Kumbogut prospective area (Uzbekistan) as a case study. Advanced techniques of digital image processing, atmospheric correction, multispectral classification, and automated linear-structure analysis were applied to identify concealed geological features and zones of potential mineralization. Special emphasis was placed on constructing a lineament-density map and ranking domains according to the intensity of tectonic disruption. The most prospective classes - those characterized by moderate and below-moderate densities of tectonic disturbances - spatially coincide with the majority of known mineral occurrences and sampling points exhibiting elevated concentrations of ore-bearing components. The remotely delineated mineralization zones were further corroborated by spectral signatures acquired in the field using a Spectral Evolution PSM-3500 portable spectrometer. The study demonstrates that automated satellite-data interpretation, when combined with minimal ground verification, significantly enhances the efficiency of identifying ore-controlling structural frameworks in poorly exposed terrains.
Keywords: automated interpretation, satellite imagery, lineament analysis, tectonic-disruption density, multispectral classification, atmospheric correction, spectral signatures, mineral exploration, Kumbogut prospective area, remote sensing in geology.

РЕЗУЛЬТАТЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО И ВИЗУАЛЬНОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ (НА ПРИМЕРЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО КУНБУГУТСКОГО УЧАСТКА)

Хасанов Нумонжон Рахматович

Младший научный сотрудник, кандидат наук, Институт минеральных ресурсов, Ташкент, Узбекистан.

Аннотация. В статье приведены результаты автоматизированного дешифрирования мультиспектральных космических снимков на примере Кумбогутского перспективного участка (Узбекистан). Применены современные методы цифровой обработки, атмосферной коррекции, многозональной классификации и автоматизированного анализа линейных структур для выявления скрытых геологических объектов и зон потенциального оруденения. Особое внимание уделено построению карты плотности линеаментов и ранжированию зон плотности тектонической нарушенности. Наиболее перспективные классы (средняя и ниже средней плотности тектонических нарушений) пространственно совпадают с большинством известных рудопроявлений и точками с высокими содержаниями полезных компонентов. Выделенные дистанционными методами зоны минерализации дополнительно подтверждены спектральными

сигнатурами, полученными в полевых условиях с помощью портативного спектрометра *Spectral Evolution PSM-3500*. Исследование показывает, что автоматизированное дешифрирование космических данных в сочетании с минимальной наземной верификацией существенно повышает эффективность выявления рудоконцентрирующих структур на слабооткрытых территориях.
Ключевые слова: автоматизированное дешифрирование, космические снимки, анализ линейных элементов, плотность тектонических нарушений, мультиспектральная классификация, атмосферная коррекция, спектральные сигнатуры, поиск оруденения, Кумбогутская перспективная площадь, дистанционные методы в геологии.

KOSMIK SURATLARNI AVTOMATIK VA VIZUAL DESHIFRLASHDAN OLINGAN NATIJALARI (KUMBOGUT ISTIQBOLLI MAYDONI MISOLIDA)

Hasanov No'monjon Raxmatovich

"Mineral resurslar instituti" DM kichik ilmiy xodimi, g.-m.f.f.d. (PhD, Toshkent, O'zbekiston)

Annotatsiya. Maqolada Kumbogut istiqbolli maydonida (O'zbekiston) kosmik multispektral tasvirlarni avtomatlashtirilgan deşifrovkalash natijalari keltirilgan. Raqamli qayta ishlashning zamonaviy usullari, atmosfera tuzatmasi, ko'p zonali tasniflash va lineamentlarning avtomatlashtirilgan tahlili yashirin geologik tuzilmalar va potensial minerallashuv zonalarni aniqlash uchun qo'llanilgan. Alohida e'tibor tektonik buzilishlar zichligi kartasini tuzish va zichlik zonalarni ranjirlashga qaratilgan. Eng yuqori istiqbolli sinflar (o'rta va o'rtadan past tektonik buzilish zichligi) ma'lum rudoprojavleniyalarning ko'pchiligi va yuqori ko'rsatkichli dala namunalarning joylashuvi bilan fazoviy ravishda mos tushgan. Masofaviy usullar bilan aniqlangan minerallashuv zonalari dala sharoitida portativ spektrometr (*Spectral Evolution PSM-3500*) yordamida olingan spektral signaturalar bilan qo'shimcha tasdiqlangan. Tadqiqot shuni ko'rsatadiki, kosmik ma'lumotlarning avtomatlashtirilgan deşifrovkasi minimal dala tekshiruvlari bilan birgalikda ochiq bo'lmagan hududlarda rudalar to'planishi mumkin bo'lgan tuzilmalarni aniqlash samaradorligini sezilarli darajada oshiradi.

Kalit so'zlar: avtomatlashtirilgan deşifrovkalash, kosmik tasvirlar, lineament tahlili, tektonik buzilishlar zichligi, multispektral tasniflash, atmosfera tuzatmasi, spektral signaturalar, minerallashuvni aniqlash, Kumbogut istiqbolli maydoni, geologiyada masofaviy zondlash.

Introduction. Over the past 30 years, global experience in developed countries has shown that the use of remote sensing methods in geology is regarded as a primary and economically highly efficient information source. Of particular importance are the automated processing techniques applied to multispectral satellite imagery obtained in various spectral ranges from Earth remote sensing (ERS) data [1,7].

Unlike multispectral sensors installed on remote sensing instruments, the human eye cannot perceive the full range of electromagnetic radiation present in nature, as its visible spectral range is limited to wavelengths between 0.36 and 0.78 micrometres [2,7].

Methods. In recent years, interest has significantly increased in the use of satellite spectrometry for mapping the distribution areas of minerals possessing indicator features of favourable

geological settings for the identification of mineral deposits. It should be emphasised that the majority of such studies have traditionally relied on data acquired by airborne video-spectrometers. However, currently the most abundant material available comes from investigations conducted using the ASTER spectroradiometer. Consequently, analysing the capabilities of ASTER spectroradiometer data remains a highly relevant and promising task [3,18].

The classification of satellite imagery is currently also referred to as automated interpretation (deciphering) methods. The fact that modern multispectral images are in digital format has created extensive opportunities for developing automated interpretation techniques. With the rapid growth of aerospace data volume and increasing demands for the speed of analysis and interpretation, the automation of image deciphering

has become a critically important issue. Most methods related to the general problem of pattern recognition are ultimately transferred to the classification of objects on electronic computing machines (computers) based on deciphering features of specific objects.

According to L.A. Bogomolov, deciphering means obtaining information about objects in a given area (or, in a broader sense, about objects and geographically manifested phenomena). In his view, deciphering is the process of extracting information about terrestrial objects (or, more broadly, objects and phenomena of the geographic environment) from their photographic images, based on knowledge of the laws governing the multiplication of their optical and geometric properties in the photograph, as well as on identifying the intrinsic spatial relationships of the objects. The above definitions reflect the general interpretation of the term “deciphering” [4,12].

Numerous methods for processing multispectral imagery utilise spectral brightness characteristics. Therefore, during the implementation of automated interpretation techniques, the task of establishing quantitative relationships between spectral brightness and the properties of objects is solved. The distribution of pixels into classes occurs in spectral feature space.

The task of classifying terrestrial landscapes and water bodies consists of dividing a certain group of objects into classes according to specified criteria. In this case, objects possessing objectively common characteristics (particularly reflectance properties) belong to the same class:

- soils and rock outcrops;
- grasslands and forests;
- agricultural lands and vegetation;
- water surfaces;
- anthropogenic objects, etc.

To solve this problem, various algorithms from pattern recognition theory, mathematical statistics, and cluster analysis are employed. It should be emphasised that, in order to obtain high-quality thematic information, it is necessary to compare classification methods performed on computers with visual interpretation techniques.

Thus, in computer-based classification, any object under study is described by a set of quantitative attributes of its image that form either

the image itself or the spectral reflectance curve of the object. During processing, the aerospace image is divided into elements (pixels), numerical values of characteristics are determined for each, and multidimensional vectors (corresponding to the number of characteristics) are formed. The classification task is to isolate regions of feature space in local areas that correspond to a particular object class. This process is also known as image segmentation. Computer classification provides reliable results due to the precise correspondence between the characteristics and the object [5,24].

Linear objects in satellite imagery are called lineaments (from Latin *lineamentum* – line, contour). This term was introduced into geological literature at the beginning of the 20th century by the American researcher W. Hobbs to designate straight linear landforms on the Earth’s surface not associated with tectonic faults or displacements along them. Subsequently, the term became nearly synonymous with deep crustal fractures, but only with the advent of satellite imagery did it acquire an independent meaning [5,138].

Through the interpretation of remote sensing photographic materials of varying generalisation levels and different spectral ranges within the study area, a large number of linear structures have been identified. In the modern relief, these structures mark:

- 1) tectonic faults with clearly expressed fault-plane lines;
- 2) zones of micro-fracturing;
- 3) buried linear structures and zones of fracturing;
- 4) linear boundaries of landscape elements and components;
- 5) straight-line boundaries between two geological bodies;
- 6) straightened boundaries of structural-facies subzones (Fig.1).

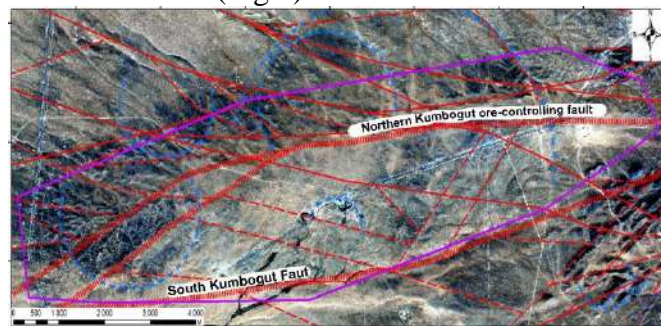


Fig.1. Results of preliminary space-structural interpretation of satellite imagery.

The forms in which lineaments manifest on the Earth's surface – which constitute the primary criteria for their identification – include the following features:

- straight segments and sharp bends in watershed ridges, river valleys, and dry valleys (sai);
- angular (knee-shaped) bends in the outlines of relief types along the same contour line;
- differences in photographic tone between adjacent terrain areas;
- characteristic linear zones of seasonal vegetation aligned along a specific strike;
- linearly arranged chains of springs.

In many cases, the resulting interpreted data coincide with real objects only probabilistically; therefore, the performed classification cannot yet be regarded as highly accurate. At present, researchers and software developers in this field are actively working to increase the reliability of automated interpretation methods by expanding both the number of algorithms and the set of diagnostic features used. To this end, it is recommended that automated classification of multizonal imagery should utilise a greater number of spectral channels or incorporate images acquired at different times (multi-temporal data). In addition to spectral properties, texture characteristics that take into account the shape, spatial arrangement, and contextual information of surrounding objects are also employed. These additional characteristics significantly improve classification reliability beyond what spectral data alone can achieve.

Results. The products of interpretation (vector layers, thematic maps) can serve as the basis for deriving secondary information about the studied objects through geoinformation analysis methods. Geoinformation analysis, in its general form, involves examining the spatial distribution, structure, and interrelationships of objects and phenomena by means of spatial analysis and geomodelling. The principal tools for such analysis are provided by geographic information systems (e.g., ArcGIS) and include: creation of buffer zones, calculation of density, delineation of tectonic disturbance zones, identification of lineament intersection nodes, evaluation of the accessibility of ore-concentrating structures, etc. Fig.2 presents the

results of satellite-image interpretation with a constructed lineament density map.

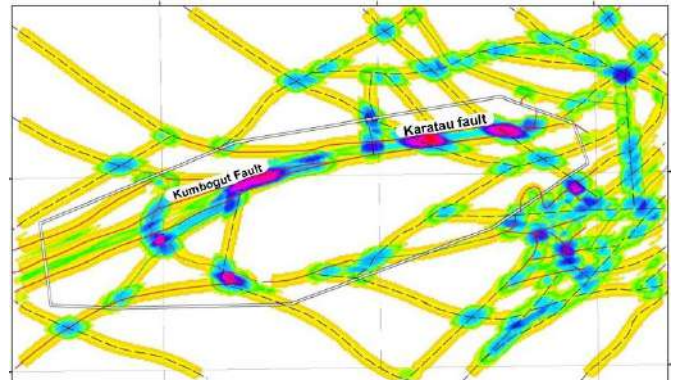


Fig.2. Lineament-density map combined with nodes of lineament and space-structural intersections, constructed using the line-distance method.

Direct geostatistical ranking of linear geological structure density values (i.e., maps of tectonic-disruption density) represents a more complex technical task. This complexity arises because tectonic-disruption density data are expressed numerically in the form of grid (raster) coverage. The main objective was to select optimal value ranges for this grid coverage to enable quantitative sampling of known mineral occurrences. In practice, the inverse problem was solved: for each known mineral occurrence (represented as vector points), the corresponding grid-cell value of tectonic-disruption density was extracted, after which the entire range of grid values was reverse-ranked into 10 intervals according to the quantitative distribution of known deposits and mineral occurrences.

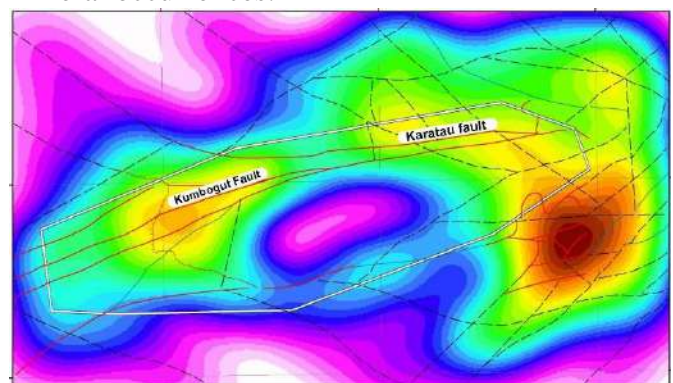


Fig.3. Ranked data of tectonic-disruption density.

The highest concentration of points representing known mineral occurrences and

sampling points with the highest contents of valuable metals is observed in zones of medium and below-medium tectonic-disruption density values. This pattern is clearly reflected on the ranked map by gradations ranging from darker to lighter tones. Ranked map of tectonic-disruption density showing the spatial relationship between zones of varying density and known mineral occurrences (Fig.3).

Discussion. One of the key stages of image interpretation is the creation of composite images from different spectral channels of the satellite data or the generation of derived remote-sensing products that characterise the territory and highlight particular aspects of the phenomenon or process under study. First of all, the original satellite imagery undergoes preprocessing because the direct use of brightness characteristics of raw space-acquired material does not always yield satisfactory results for solving most geological problems. To improve outcomes, the relative brightness of the satellite image is directly enhanced, pixel-value variability is reduced, and spectral brightness is converted by normalising solar illumination (i.e. atmospheric correction is performed). All these steps are computed using algorithms embedded in standard remote-sensing software packages (ENVI, ERDAS, QGIS, SNAP, etc.). At present, the majority of satellite data available to cosmogeological researchers are already atmospherically corrected. However, because the correction of large data volumes is fully automated, the algorithms employed are based on average parameters and do not take into account the specific acquisition conditions of each individual scene.

A widespread problem when working with satellite imagery is cloud cover. Several commercial and open-source processing packages successfully minimise the influence of clouds, but this usually incurs additional cost, is not applied in all cases, and sometimes requires supplementary atmospheric data at the time of acquisition. To adapt and apply a correction model to a specific scene, the following basic steps must be performed: (1) acquisition of metadata, (2) analysis of the data, (3) model adjustment, and (4) execution of the model.

As a result of automated interpretation carried out over the Kumbogut prospective area, numerous linear structures were identified, and promising mineralised zones were automatically delineated

using reference (training) objects. Within the study area and adjacent territories, the following statistical parameters were regarded as principal: count, maximum, mean, median, minimum, range, standard deviation, sum, and the number of high-magnitude values. By mathematically comparing the anomalies obtained from thermal anomaly data with the zones of mineralisation revealed through the above statistical analysis, potentially ore-concentrating areas were identified (Fig. 4).

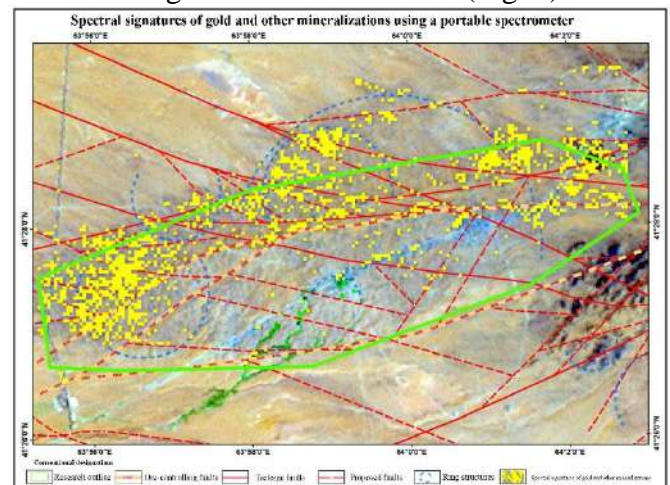


Fig.4. Spectral signatures of gold and associated mineralisation identified in the Kumbogut prospective area on the basis of field measurements using a portable spectrometer (Spectral Evolution PSM-3500).


Conclusions. Automated interpretation of satellite imagery makes it possible to solve a wide range of tasks. Even a simple atmospheric correction significantly increases the clarity of features in the satellite image – that is, it enhances the distinctiveness of pixel photo-tones – thereby enabling much more precise delineation of geological outcrops, lithological boundaries, and other objects.

Moreover, the mineralisation revealed at the intersection nodes of lineaments identified by automated interpretation has been further confirmed and refined by field spectrometer measurements. These ground-truth data provide conclusive evidence of the presence of mineralisation in the zones highlighted by the remote-sensing analysis.

REFERENCES

- [1] Hasanov, N. R., & Akhmadov, Sh. I. (2025). Results obtained through automated interpretation of satellite imagery (A case study of the Kumbogut prospective area). In *Topical Issues of Earth Sciences: Scientific-Technical Conference (Conference proceedings, p. 36)*. Tashkent.
- [2] Gorny, V. I., Kritsuk, S. G., Latypov, I. Sh., & Tronin, A. A. (2014). Features of mineralogical zonation in ore–magmatic systems hosting quartz–vein gold deposits (based on satellite spectrometry data). *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 11(3), 140–145.
- [3] Goipov, A. B., Turapov, M. K., Akhmadov, Sh. I., & Hasanov, N. R. (2020). Application of channel ratios of satellite imagery for mineral mapping: A case study of the Kokpatas–Okzhetpes trend (Bukhantau Mountains). *Mining Bulletin of Uzbekistan*, 3(82), 35–39.
- [4] Gubin, V. N. (2004). *Remote sensing methods in geology: A textbook for students* (pp. 39–43). Bishkek: BSU.
- [5] Goipov, A. B., & Asadov, A. R. (2021). *Remote sensing in geology: A study guide* (pp. 130–131). GFU.

UO‘K: 550.832:553.98

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.37

GAMMA-KAROTAJ ASOSIDA ATORBOY QUDUG‘I №1 QUMLI KOLLEKTORLARNING MUROMTSEV USULI ASOSIDA FATSIAL VA FORMATSION TALQINI



Sharafutdinova Leyla Pulatovna

Dotsent, Geologiya fanlari universiteti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: shleyla1980@gmail.com



Raxmonova Sevara Toshpo‘lat qizi

Neft va gaz konlari geologiyasi hamda qidiruvi instituti tayanch
doktorant, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: raxmonovasevara380@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada Atorboy qudug‘i №1 kesimidan olingan gamma-karotaj (GK) va kern namunalari asosida qumli cho‘kindilarning fatsial-formatsion tavsifi amalga oshirildi. Tadqiqot qumli jinslarni elektrometrik usul bilan o‘rganish, neft va gaz tutqichlari metodi hamda V.S. Muromtsev tomonidan ishlab chiqilgan gamma-karotaj egri chizig‘ining genetik shakllari tasnifi asosida olib borildi. Gamma-karotaj ma‘lumotlari qum va gil qatlamlarini ajratish, sedimentatsion muhitni aniqlash hamda kollektor sifatini baholashda samarali ekanligi aniqlandi. Olingan natijalarga ko‘ra, kesim allyuvial poyma va allyuvial kanal fatsiyalariga ajratildi. Tadqiqot natijalari neft-gaz konlarini izlash va baholashda amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: Atorboy qudug‘i, gamma-karotaj, Muromtsev usuli, allyuvial poyma, allyuvial kanal, qumli kollektor, fatsial talqin.

ФАЦИАЛЬНАЯ И ФОРМАЦИОННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПЕСЧАНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ СКВАЖИНЫ АТОРБОЙ №1 НА ОСНОВЕ ГАММА- КАРОТАЖА ПО МЕТОДУ МУРОМЦЕВА

Шарафутдинова Лейла Пулатовна

Доцент, Университет геологических наук, Ташкент,
Узбекистан

Рахмонова Севара Ташпулат кизи

Базовый докторант Института геологии и разведки
нефтяных и газовых месторождений, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В статье представлена фациальная интерпретация песчаных коллекторов по данным гамма-каротажа и керновых образцов разреза скважины Аторбой №1. В ходе исследования использованы электрометрические методы изучения песчаных пород, методы выявления нефтегазовых ловушек, а также классификация генетических форм кривых гамма-каротажа, разработанная В.С. Муромцевым. Показано, что данные гамма-каротажа эффективны для разделения песчаных и глинистых пластов, определения условий осадконакопления и оценки коллекторских свойств. По результатам исследования разрез подразделён на аллювиальные пойменные и русловые фации. Полученные результаты имеют практическое значение для поисков и оценки нефтегазовых месторождений.

Ключевые слова: скважина Аторбой, гамма-каротаж, метод Муромцева, аллювиальная пойма, аллювиальный канал, песчаный коллектор, фациальная интерпретация.

FACIES AND FORMATION INTERPRETATION OF SANDY RESERVOIRS IN ATORBOY WELL №1 BASED ON GAMMA-RAY LOGGING USING THE MUROMTSEV METHOD

Sharafutdinova Leyla Pulatovna

Docent, University of Geological Sciences, Tashkent, Uzbekistan

Rakhmonova Sevara Toshpulat kizi

*Basic doctoral student of the Institute of Geology and Exploration
of Oil and Gas Fields, Tashkent, Uzbekistan*

Abstract. This paper presents a facies interpretation of sandy reservoirs based on gamma-ray logging data and core samples from the Atorboy Well №1. The study applies electrometric methods for investigating sandy rocks, hydrocarbon trap analysis techniques, and the classification of genetic types of gamma-ray log curves developed by V.S. Muromtsev. The results indicate that gamma-ray logging is effective for distinguishing sand and clay layers, identifying depositional environments, and evaluating reservoir properties. Based on the obtained data, the well section is subdivided into alluvial floodplain and alluvial channel facies. The findings are of practical importance for hydrocarbon exploration and evaluation.

Keywords: Atorboy well, gamma-ray logging, Muromtsev method, alluvial floodplain, alluvial channel, sandy reservoir, facies interpretation.

Kirish. Sedimentologiya va neft-gaz konlarini o'rganishda qumli cho'kindilarning fatsial va formatsion xususiyatlarini aniqlash katta ahamiyatga ega. Qumli kollektorlarning ichki tuzilishi, donadorligi va gillilik darajasi ularning filtratsion-sig'im xossalari belgilaydi [5]. Gamma-karotaj usuli radioaktiv elementlar kontsentratsiyasi asosida qum va gil qatlamlarini ajratish imkonini beradi va depositional muhitni talqin qilishda keng qo'llaniladi [3,4]. V. S. Muromtsev tomonidan taklif etilgan elektrometrik geologiya metodikasi gamma-karotaj egri chizig'ining shakli, amplitudasi va tebranish xususiyatlari orqali qumli tanalarning genetik turini aniqlashga imkon beradi [1]. Ushbu yondashuv neft va gaz bilan to'yingan litologik tuzoqlarni aniqlashda yuqori samaradorlikka ega [6].

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Qumli kollektorlarning fatsial va formatsion tavsifi bo'yicha xalqaro va mahalliy tadqiqotlar keng qamrovli natijalar beradi. V.S. Muromtsevning elektrometrik geologiya metodikasi qumli tanalarning genetik shakllarini aniqlashda ishonchli yondashuv sifatida tan olingan [1]. Ushbu yondashuv gamma-karotaj egri chiziqlarining amplitudasi, tebranishi va shakli orqali sedimentatsion muhitni talqin qilish imkonini beradi va neft-gaz tuziqlarini aniqlashda yuqori samaradorlik ko'rsatadi.

Shuningdek, Dakhnov [2] geofizik tadqiqotlar

natijalarini talqin qilish bo'yicha metodik tavsiyalar beradi, bu esa quduq kesimlaridagi qum va gil qatlamlarini ajratishda va litologik tuzilmani aniqlashda muhim ahamiyatga ega. Xorijiy adabiyotlarda, Asquith va Krygowski [3] quduq loglarini asosiy vosita sifatida ishlatishning zamonaviy yondashuvlarini bayon qiladi, gamma-karotaj asosida sedimentatsion fatsialni aniqlash metodlari ilmiy asoslangan va amaliy jihatdan foydali ekanligi ko'rsatilgan.

Nazeer va boshq. [4] gamma-karotaj ma'lumotlari yordamida qumli kollektorlarning depositional xususiyatlarini baholash usullarini tahlil qilgan, bu esa hozirgi tadqiqot uchun metodologik asos bo'ldi. Selley [5] tomonidan ishlab chiqilgan sedimentologik yondashuvlar qumli jinslarning ichki tuzilishi va granulometriyasi asosida kollektorlarga baho berish imkonini beradi. Wang va boshq. [6] yuqori gamma-karotaj qiymatlariga ega qumli rezervoarlarda log ma'lumotlaridan foydalanib litsenziyalangan metodlarni tavsiflagan. Ushbu adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, gamma-karotaj va kern ma'lumotlari asosida qumli kollektorlarning fatsial va formatsion tavsifi, Muromtsev usuli bilan birgalikda, hozirgi geologik amaliyotda ishonchli va amaliy ahamiyatli vosita sifatida ishlatiladi.

Metodlar. Tadqiqot materiali sifatida Atorboy qudug'i №1 dan olingan gamma-karotaj diagrammalari (3350–3610 m) va chuqurliklar

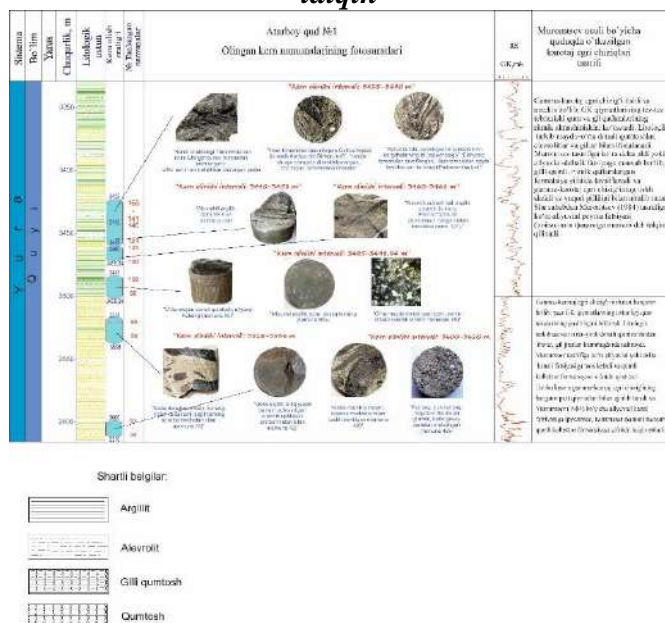
bo'yicha olingan kern namunalari ishlatildi. Gamma-karotaj egri chiziqlari Muromtsev tasnifi asosida tahlil qilindi, egri chiziq shakli, amplitudasi va tebranishi qumli kollektorlarning genetik va fatsial xususiyatlarini aniqlash mezoni sifatida qabul qilindi.

Kern namunalari granulometriya, mineralogik tarkib va makro-litologik tavsiflar asosida baholandi. Fatsial tasnifda ichki (allyuvial) fatsiyalar — poyma, kanal va kanalli poymalar, hamda tashqi (daryo vodiylari va tekisliklar) fatsiyalar ajratildi. Gamma-karotaj egri chiziqlarining strukturalari va amplitudasi sedimentatsion muhit energiyasi va litologik tarkibni aks ettiradi. Yuqori amplituda va tishli egri chiziqlar past energiyali, ritmik sedimentatsiya sharoitini, past amplituda va barqaror egri chiziqlar esa yuqori energiyali oqimlarda hosil bo'lgan, yaxshi kollektor xususiyatiga ega allyuvial kanal fatsiyasini bildiradi.

Shu metodika asosida 3350–3610 m oralig'i ikki asosiy fatsiyaga ajratildi: yuqori qism — allyuvial poyma, quyi qism — allyuvial kanal (русла). Ushbu yondashuv nafaqat fatsial talqin, balki qumli kollektorlarning sifatini baholash va neft-gaz konlarini izlashda ham amaliy ahamiyatga ega.

1-jadval

Atorboy qudug'i №1 dagi qatlamlar va fatsial talqin



3350–3500 m (Poyma fatsiyasi): Gamma-karotaj egri chizig'i o'tkir qirra tishli va notekis. Yuqoridan pastga qarab tishlari qiyanlab kamayib

boradi bu holat bir necha marta yuqorida ko'rsatilgan intervallarda takrorlanadi va yuqori amplitudaga ega. GK qiymatlarining tez tebranishi gil va qum qatlamlarining ritmik almashinuvini ko'rsatadi. Kern tahlili mayda-o'rta qumtosh, alevrolit va gilni tasdiqlaydi. Ushbu qatlam allyuvial poyma fatsiyasining past energiyali, o'zgaruvchan sharoitlarini ifodalaydi. 3500 m oraliqqa kelib amplituda kamaygani shuni ifodalaydiki, bu qum ulushining oshishi va gil qatlamlarning yupqalashuvi bilan bog'liq. Sedimentatsiya energiyasi biroz oshgan, poyma va kanal (русла) o'rtasidagi o'tish fazasini anglatadi. Gamma-karotaj egri chizig'i ritmik, barqarorroq va o'rtacha amplituda bilan xarakterlanadi. Qum ko'proq to'planadi, sedimentatsiya sharoiti barqarorlashadi.

3500–3550 m (Allyuvial kanal (русла) fatsiyasi): GK egri chizig'i barqaror va past amplituda. Yaxshi saralangan o'rta donali qumtoshlar. Sedimentatsiya yuqori energiyali oqimga xos. 3600 m ga kelib qum tanalari zich va gillilik juda kam. Bu yuqori energiyali oqimlarda hosil bo'lgan, yaxshi kollektor sifatidagi allyuvial kanal (русла) fatsiyasiga mos keladi. 3600–3610 m oralig'ida esa barqaror past amplituda, ayrim kichik tebranishlar. Yupqa gil qatlamchalari mavjud. Kanal fatsiyasining ichki zonasi.

Gamma-karotaj egri chizig'ining shakli va amplitudasi sedimentatsion muhit va litologik tarkibni aks ettiradi. Muromtsev usulida bu ko'rsatkichlar asosida qumli kollektorlarning fatsial klassifikatsiyasi aniq belgilanadi. Masalan, yuqori amplitudali, tishli va notekis egri chiziq past energiyali, ritmik almashinishlarga ega poyma fatsiyasini, past amplituda va barqaror egri chiziq esa yuqori energiyali, yaxlit qum tanalarini bildiradi. Ushbu tasnif neft-gaz konlarini izlashda yaxshi natijalar beradi, chunki u yer osti tuzilishlarini va yo'llanadigan zonalarini aniq ko'rsatadi.

Natijalar. Tadqiqotning asosiy maqsadi Atorboy qudug'i №1 kesimidagi qumli kollektorlarni V.S. Muromtsev tomonidan ishlab chiqilgan gamma-karotaj (GK) egri chizig'ining genetik shakllari tasnifi asosida fatsial va formatsion jihatdan talqin qilishdir. Gamma-karotaj egri chiziqlarining shakli va amplitudasi sedimentatsion muhit energiyasini bevosita aks ettiradi [1,3]. Yuqori amplitudali, notekis va tishli GK egri chiziqlari allyuvial poyma fatsiyasiga xos bo'lib,

Gamma-karotaj egri chiziqlarining shakli va amplitudasi bevosita sedimentatsion muhit energiyasini aks ettiradi [1,4].

Olingan geologik-geofizik ma'lumotlar asosida Atorboy qudug'i №1 kesimining 3350 – 3610 m chuqurlik oralig'i ikki asosiy allyuvial fatsiyaga ajratildi. Kesimning yuqori qismi (3350 – 3500 m) allyuvial poyma fatsiyasiga mansub bo'lib, u yuqori amplitudali, notekis va tishli GK egri chiziqlari bilan tavsiflanadi. Ushbu xususiyatlar past energiyali, ritmik sedimentatsiya sharoitlarida shakllangan cho'kindi muhitni ifodalaydi. Kern materiallarini tahlil qilish natijalari mazkur qatlam tarkibining mayda-o'rta donali qumtosh, alevrolit va gil jinslarining ritmik almashinuvidan iborat ekanligini tasdiqlaydi. Kesimning quyi qismi (3500–3610 m) esa allyuvial kanal (rusla) fatsiyasiga to'g'ri kelib, past amplitudali va nisbatan barqaror GK egri chiziqlari bilan xarakterlanadi. Bunday geofizik belgilar yuqori energiyali oqimlar ta'sirida shakllangan, yaxlit va massiv qum tanalarining mavjudligini ko'rsatadi.

Muhokama. Past amplitudali va barqaror GK egri chiziqlari esa yuqori energiyali oqimlarda hosil bo'lgan allyuvial kanal (русла) fatsiyasini ifodalaydi va yaxshi kollektorlik xususiyatlariga ega ekanligi aniqlangan [2,6]. Ushbu natijalar xalqaro tadqiqotlarda gamma-karotaj asosida qumli kollektorlarning fatsial talqini bo'yicha olingan xulosalar bilan mos keladi [3,4].

Gamma-karotaj ma'lumotlarining sama-

radorligi:

- Gamma-karotaj ma'lumotlari qum va gil qatlamlarini samarali ajratish, sedimentatsion muhitni aniqlash, hamda kollektor sifatini baholashda juda muhim ekanligi qayd etildi.

- Olingan natijalar gamma-karotaj asosida qumli kollektorlarning fatsial talqini bo'yicha xalqaro tadqiqotlarda olingan xulosalar bilan mos keladi.

Amaliy natija. Tadqiqot natijalari neft-gaz konlarini izlash, baholash va ekspluatatsiya qilishda muhim amaliy ahamiyatga ega. Muromtsev usulida qo'llanilgan bu tasnif yer osti tuzilishlarini va yo'nalish zonalarini aniq ko'rsatishda yaxshi natijalar beradi.

Umuman olganda, maqolada GK egri chiziqlarini tahlil qilish orqali kollektorlarni ajratishga erishilganligi, ayniqsa, yaxshi kollektor xususiyatlariga ega bo'lgan allyuvial kanal fatsiyasining aniqlanganligi asosiy natija hisoblanadi.

Xulosa. Atorboy qudug'i №1 kesimidan olingan gamma-karotaj va kern ma'lumotlari yordamida 3350–3610 m oralig'i ikki asosiy fatsiyaga ajratildi: yuqori qism allyuvial poyma, quyi qism esa allyuvial kanal (русла) fatsiyasi [1]. Gamma-karotaj egri chizig'ining genetik shakllari va amplitudasi asosida Muromtsev tasnifidan foydalangan holda fatsial talqin aniq va ishonchli amalga oshirildi. Ushbu tadqiqot natijalari neft-gaz konlarini qidirishda, baholashda va ekspluatatsiyada muhim ahamiyatga ega [2-4].

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Муромцев, В. С. (1984). Электрометрическая геология песчаных тел — литологических ловушек нефти и газа. Ленинград: Недра.
- [2] Дахнов, В. Н. (1972). Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. Москва: Недра.
- [3] Asquith, G., & Krygowski, D. (2004). Basic well log analysis. Tulsa, OK: AAPG.
- [4] Nazeer, A., Bashir, Y., & Shah, M. T. (2016). Sedimentary facies interpretation of gamma-ray log as basic well log data. *Geodesy and Geodynamics*, 7(6), 432–443.
- [5] Selley, R. C. (1996). *Applied sedimentology*. London: Academic Press.
- [6] Wang, L., Xiao, C., & Li, K. (2013). Genesis and log evaluation of high gamma-ray sandstone reservoirs. *The Scientific World Journal*, 2013, Article 378706.

KIMYOVIY TEXNOLOGIYA VA QURILISH
ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО
CHEMICAL TECHNOLOGY AND CONSTRUCTION

УДК: 620.98

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.2

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ АВТОНОМНОЙ
ГИБРИДНОЙ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ: МИНИМИЗАЦИЯ
ОКУПАЕМОСТИ, ЭНЕРГОПОТЕРЬ И ВЫБРОСОВ CO₂



Авезова Нилуфар Раббанакуловна

Доктор технических наук, Ферганский государственный
технический университет, Фергана, Узбекистан

E-mail: avezovanr@gmail.com

ORCID ID: 10000-0002-4298-1041



Усманов Абдурауф Юлдашбоевич

Младший научный сотрудник,
Физико-технический институт Академии наук Республики
Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

E-mail: usmonov_abdurauuf@mail.ru

ORCID ID: 0000-0001-6085-6298

Аннотация. В статье рассматривается разработка целевой функции для многокритериальной оптимизации энергетической эффективности гибридной биогазовой установки (ГБУ), интегрированной с фотоэлектрической системой и солнечными тепловыми коллекторами. Предложенная модель учитывает пять ключевых параметров: площадь солнечного водонагревательного коллектора (СВК), мощность фотоэлектрической системы, объём биореактора, температуру анаэробного процесса и скорость перемешивания субстрата. Целевая функция направлена на минимизацию срока окупаемости, энергопотери и выбросов CO₂ с учётом технических и экономических ограничений. Анализ зависимостей параметров от критериев эффективности выявил их нелинейный характер и наличие оптимальных диапазонов, что подтверждает необходимость применения методов оптимизации, таких как скаляризация, эволюционные алгоритмы или имитационного моделирования. Результаты демонстрируют потенциал гибридных систем в повышении энергоэффективности и экологической устойчивости за счёт синергетического использования возобновляемых источников энергии. Исследование вносит вклад в развитие методологии проектирования ГБУ и может служить основой для практической реализации энергоэффективных биоэнергетических комплексов.

Ключевые слова: гибридная биогазовая установка, многокритериальная оптимизация, энергетическая эффективность, возобновляемые источники энергии, солнечные коллекторы, фотоэлектрические системы, анаэробное брожение, экологическая устойчивость.

AVTONOM GIBRID BIOGAZ QURILMASINING KO'P MEZONLI
OPTIMALLASHTIRILISHI: O'ZINI OQLASH MUDDATI, ENERGIYA
YO'QOTISHLARI VA CO₂ EMISSIYASINI KAMAYTIRISH

Avezova Nilufar Rabbanaqulovna

Texnika fanlari doktori, Farg'ona davlat texnika universiteti,
Farg'ona, O'zbekiston

Usmanov Abdurauf Yuldashboyevich

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Fizika-texnika
instituti kichik ilmiy xodimi, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada quyosh fotoelektrik tizimi va quyosh suv isitgich kollektorlari (QSIK) bilan integratsiyalashgan gibrid biogaz qurilmasining (GBQ) energetik samaradorligini ko'p mezonli optimallashtirish uchun maqsadli funktsiyani ishlab chiqish masalasi ko'rib chiqiladi. Taklif etilgan model beshta asosiy parametrlarni hisobga oladi: QSIK yuzasi, fotoelektrik tizim quvvati, bioreaktor hajmi, anaerob jarayon harorati va substratni aralashtirish tezligi. Maqsadli funktsiya texnik va iqtisodiy cheklavlarni hisobga olgan holda, o'zlashtirish muddati, energiya yo'qotishlari va CO₂ emissiyasini minimallashtirishga qaratilgan. Parametrlarning samaradorlik mezonlariga bog'liqligini tahlil qilish ularning nochiqli xususiyatga ega ekanini va optimal oraliqlar mavjudligini ko'rsatdi, bu esa skalyarizatsiya, evolyutsion algoritmlar yoki imitatsion modellashtirish kabi optimallashtirish usullarini qo'llash zarurligini tasdiqlaydi. Natijalar gibrid tizimlarning energiya samaradorligi va ekologik barqarorligini oshirishda qayta tiklanuvchi energiya manbalarining sinergik qo'llanilishi orqali katta salohiyatga ega ekanini namoyon etdi. Tadqiqot GBQni loyihalash metodologiyasini rivojlantirishga hissa qo'shadi va energiya tejankor bioenergetik majmualarni amaliyotga joriy etish uchun asos bo'la oladi.

Kalit so'zlar: gibrid biogaz qurilmasi, ko'p mezonli optimallashtirish, energiya samaradorligi, qayta tiklanuvchi energiya manbalari, quyosh kollektorlar, fotoelektr panellar, anaerob achitish, ekologik barqarorlik.

MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION OF AN AUTONOMOUS HYBRID BIOGAS PLANT: MINIMIZING PAYBACK PERIOD, ENERGY LOSSES, AND CO₂ EMISSIONS

Avezova Nilufar Rabbanaqulovna

Doctor of Technical Sciences, Fergana State Technical University,
Fergana, Uzbekistan

Usmanov Abdurauf Yuldashboyevich

Junior Research Fellow of the Physico-Technical Institute of the
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Tashkent, Uzbekistan

Abstract. This article presents the development of an objective function for multi-criteria optimization of the energy efficiency of a hybrid biogas plant (HBP), integrated with photovoltaic (PV) systems and solar thermal collectors. The proposed model considers five key parameters: solar collector area, PV system capacity, bioreactor volume, anaerobic digestion temperature, and substrate mixing rate. The objective function aims to minimize the payback period, energy losses, and CO₂ emissions, while taking into account both technical and economic constraints. The analysis of parameter dependencies on efficiency criteria reveals their nonlinear nature and the existence of optimal ranges, which underscores the need for optimization methods such as scalarization, evolutionary algorithms, or simulation modeling. The results demonstrate the potential of hybrid systems to improve energy efficiency and environmental sustainability through the synergistic use of renewable energy sources. This research contributes to the development of hybrid biogas plant design methodology and can serve as a foundation for the practical implementation of energy-efficient bioenergy systems.

Keywords: hybrid biogas plant, multi-criteria optimization, energy efficiency, renewable energy sources, solar collectors, photovoltaic systems, anaerobic digestion, environmental sustainability.

Введение. Современные вызовы в области энергетики требуют разработки высокоэффективных систем, использующих возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для

минимизации экологического следа и зависимости от ископаемого топлива.

Согласно Постановлению Кабинета Министров №561 от 25.10.2023г. [1], утвержд-

ночью нехватка тепла компенсируется сжиганием накопленного биогаза либо аккумуляторами. Такой подход устойчиво поддерживает оптимальную температуру брожения 37 °С (мезофильный режим) несмотря на суточные и сезонные колебания окружающей среды, связи с чем можно уверенно отметить, что Гибридная схема повышает энергоэффективность и автономность биоустановки, сокращая углеродный след по сравнению с традиционными системами энергоснабжения [7, 8].

На Рис.1 представлена принципиальная схема гибридной солнечно-биогазовой установки, которая включает следующие основные компоненты: Биореактор с водяной рубашкой нагрева и мешалкой, куда загружается подготовленный органический субстрат; Система подачи субстрата – приёмный бункер или насос для загрузки предварительно измельченного и разбавленного до 90% влажности сырья; Система выгрузки шлама – отверстие или клапан для отвода отбродившего остатка (удобрения) из реактора. В верхней части биореактора установлен газоотвод с гидрозатвором, обеспечивающим выход биогаза и предотвращающим обратный поток. Высвобождающийся биогаз накапливается во внешнем газгольдере (газовом мешке или ёмкости).

Как видно из Рис.1. из газгольдера биогаз поступает в газовый котёл – водогрейный агрегат на биогазовом топливе, использующийся для подогрева теплоносителя. Основной контур отопления представляет собой замкнутую систему с циркуляцией теплоносителя (воды) между котлом, солнечным коллектором и рубашкой биореактора. Циркуляционный насос качает воду через СВК (днём) и/или через змеевик газового котла (ночью). Коллектор нагревает воду от солнца, а газовый котёл – сжигая биогаз. Для управления потоками установлены электромагнитные клапаны: один клапан на линии от насоса к СВК, второй – на линии к газовому котлу, а также клапан на газопроводе к горелке. Открывая или закрывая эти клапаны, система переключается между режимами нагрева: солнечным или газовым. Нагретый теплоноситель поступает в рубашку реактора, отдаёт тепло субстрату и

возвращается охлаждённым обратно к насосу (закрывая контур). Также в контур встроены расходомер для контроля расхода воды (он необходим для мониторинга эффективности теплообмена и работы насоса). Давление в системе теплоносителя контролирует манометр.

Для электроснабжения автономной работы ГБУ установлена ФЭС, состоящая из: фотоэлектрической панели (мощностью 550 Вт), контроллера заряда, аккумуляторной батареи и инвертора. ФЭС днём заряжает аккумулятор, а накопленная энергия питает насос, мешалку, клапаны и систему управления. Блок автоматического управления (на базе PID-регулятора) получает данные от датчиков температуры и управляет насосом, клапанами, мешалкой и нагревательными устройствами, обеспечивая стабильную работу всей установки. В сумме схема охватывает полный цикл: от подачи сырья и брожения – до получения, хранения и использования биогаза, утилизации остатка и поддержания температурного режима.

Таким образом разработанная гибридная солнечно-биогазовая установка позволяет эффективно поддерживать работу биореактора в автономном режиме.

Для оптимизации энергетической эффективности ГБУ, которая состоит из биореактора интегрированная с СВК (для выработки электроэнергии) и СВК (для подогрева реактора) формулируется многокритериальная целевая функция с учетом пяти оптимизируемых параметров A_{col} , P_{PV} , V_{bio} , T , ω . Предлагаемая гибридная система использует энергию солнца для поддержания оптимальной температуры брожения и обеспечения работы вспомогательных устройств, повышая выход биогаза и сокращая потребность во внешних энергоресурсах.

Ниже кратко перечислены и описаны пять оптимизируемых параметров в модели многокритериальной оптимизации гибридной биогазовой установки:

1. A_{col} — площадь СВК.

От этого параметра зависит количество улавливаемой солнечной тепловой энергии. Чем больше площадь, тем больше можно получать тепла для подогрева биореактора (и/или для других нужд), но при этом возрастают

капитальные затраты и требования к свободной площади для размещения СВК.

2. P_{PV} — мощность ФЭС (солнечных модулей).

Определяет пиковую (установленную) мощность системы фотоэлектрических модлей. Чем выше P_{PV} , тем больше электроэнергии можно генерировать из солнечного излучения, снижая энергозатраты на внешнее электроснабжение и уменьшая выбросы CO_2 . Однако большие фотомодули занимают значительную площадь и требуют больших первоначальных вложений.

3. V_{bio} — объем биореактора.

Чем больше полезный объем биореактора, тем больший объем субстрата (органических отходов) можно переработать и, следовательно, получить больше биогаза. Но увеличение объема реактора увеличивает капитальные и эксплуатационные затраты, а также требует достаточного количества сырья (биомассы). Существуют и конструктивные ограничения, и практические аспекты (например, доступный объем отходов).

4. T — температура процесса (температурный режим внутри биореактора).

Для разных типов анаэробного сбраживания оптимальными являются мезофильной (около $35\div 40^\circ C$) или термофильные ($50\div 55^\circ C$) режимы. Повышение температуры обычно ускоряет метаногенез, повышая выход биогаза, однако требует более высоких затрат на нагрев. Если СВК покрывают потребность в тепле, это может окупаться, но при недостатке солнечной энергии слишком высокая температура увеличит внешние энергозатраты и может ухудшить общую эффективность.

5. ω — скорость перемешивания субстрата в биореакторе.

Оптимальный режим мешалки обеспечивает равномерное распределение субстрата и микроорганизмов, улучшая выход биогаза и теплоперенос, но при этом само перемешивание требует электроэнергии. Слишком низкая скорость вызывает расслоение среды, слишком высокая — избыточные энергозатраты и даже дестабилизацию микробных сообществ. Следовательно, существует определенная оптимальная величина ω , при которой

достигается наилучшее соотношение «энергия перемешивания/выход биогаза».

Все эти пять параметров (A_{col} , P_{PV} , V_{bio} , T , ω) взаимосвязаны с точки зрения энергетического, экономического и экологического эффектов. В задаче многокритериальной оптимизации искомые параметры подобраны, чтобы достигать сразу нескольких целей: минимизация срока окупаемости, минимизация энергопотери и одновременно максимальное снижение выбросов CO_2 с учётом заданных технических и экономических ограничений.

Данную задачу представим как задачу минимизации комплексного критерия, например посредством взвешенной суммы отдельных показателей:

$$F = \omega_1 T_{payback}(A_{col}, P_{PV}, V_{bio}, T, \omega) + \omega_2 E_{loss}(A_{col}, P_{PV}, V_{bio}, T, \omega) - \omega_3 CO_{2red}(A_{col}, P_{PV}, V_{bio}, T, \omega), \quad (1)$$

где $T_{payback}$ — срок окупаемости проекта; E_{loss} — суммарные энергопотери (или энергозатраты) системы; CO_{2red} — объем предотвращенных выбросов CO_2 (чем больше, тем лучше). Коэффициенты $\omega_1, \omega_2, \omega_3 > 0$ — весовые множители, приводящие критерии к сопоставимому виду и отражающие приоритеты. В таком виде функция F снижается при сокращении $T_{payback}$ и E_{loss} и при росте CO_{2red} , что соответствует требованиям задачи. Альтернативно, можно минимизировать каждый критерий по отдельности, рассматривая задачу как истинно многокритериальную (векторную) оптимизацию, где цели — $T_{payback}$ и E_{loss} (минимизация) и — CO_{2red} (минимизация отрицательного эквивалента для максимизации положительного эффекта).

Ограничения: при оптимизации вводятся ограничения технической реализуемости и экономической целесообразности которые состоят из следующих:

- **Площадь:** $A_{col} + A_{PV}(P_{PV}) \leq A_{max}$
 Площадь СВК плюс площадь, требуемая для фотоэлектрических панелей (в зависимости от установленной мощности P_{PV} , не должна превышать доступную площадь установки A_{max} . Это гарантирует вписывание системы в отведенную территорию.

- **Объем биореактора:** $V_{bio} \geq V_{min}$. Объем биогазового реактора должен быть не менее минимально необходимого V_{min} для обеспечения достаточной выработки биогаза, чтобы установка была экономически окупаемой.

- **Температура процесса:** $T_{min} \leq T \leq T_{max}$. Температура анаэробного процесса ограничена диапазоном, обеспечивающим жизнедеятельность микроорганизмов и стабильность процесса (например, мезофильный режим около 35÷40 °С или термофильный до 55 °С). Выход за эти пределы нарушает работу биореактора.

- **Скорость перемешивания:** $\omega_{min} \leq \omega \leq \omega_{max}$. Слишком низкое перемешивание (ω_{min}) может привести к расслоению субстрата, а слишком высокое (ω_{max}) – к избыточным энергозатратам и даже подавлению метаногенеза. Поэтому скорость ограничена разумным диапазоном.

Прочие эксплуатационные ограничения: например, допустимая нагрузка на систему отопления (если тепло от СВК недостаточно), максимальная мощность, выдаваемая в сеть, надежность и безопасность оборудования и пр. Эти ограничения вводятся по необходимости, чтобы решение оставалось практически осуществимым.

Таким образом, задача формулируется как нахождение таких A_{col} , P_{PV} , V_{bio} , T , ω , которые минимизируют F при выполнении всех указанных ограничений. В литературе встречается аналогичный подход – оптимизация сразу по экономическим, энергетическим и экологическим показателям. Например, известно решение для интегрированных энергосистем, где одновременно минимизируются эксплуатационные затраты, потери энергии и выбросы CO_2 . Также зачастую непосредственно выбирают срок окупаемости в качестве целевой функции при энергетическом проектировании, что отражает приоритет экономической эффективности.

При решении описанной оптимизационной задачи можно применить различные методы. Выбор метода зависит от того, сведена ли задача к одной целевой функции или рассматривается многокритериально, а также от математических свойств модели (линейность, дифференцируемость и т.д.). Также

используются специализированные программные комплексы для оптимизации гибридных энергоустановок. Например, существуют инструменты HOMER, Hybrid Optimization Model или собственные скрипты, использующие библиотеки оптимизации [10, 11]. Они позволяют учесть стохастические характеристики (солнечную радиацию, нагрузку и т.д.) и применяют встроенные оптимизаторы для подбора размеров систем. В таких пакетах часто используется либо линейное/динамическое программирование, либо генетические алгоритмы. Заранее задавая граничные условия и ограничения (площадь, минимум биогаза, бюджет и прочие), программа находит оптимальную конфигурацию.

Таким образом метод оптимизации должен учитывать необходимость удовлетворить ограничения и особенности целевой функции. Для многокритериальной задачи предпочтительно сначала получить набор Pareto-оптимальных решений, а затем, основываясь на внешних критериях (например, бюджете или политике снижения выбросов), выбрать конкретное оптимальное решение [12].

Представленная функциональная схема ГБУ (Рис. 2) визуализирует все ключевые процессы – от подготовки сырья до утилизации энергии биогаза. Система управления на базе PID-регулятора обеспечивает автоматическое поддержание оптимальной температуры брожения 37 °С, переключая источники тепла (СВК днём, биогазовый котёл ночью) и задействуя резерв при необходимости. Результаты расчётов показывают, что при объёме реактора 0,5 м³ ежедневные теплопотери 6,2 кВт·ч могут быть компенсированы комбинацией солнечного тепла (2÷2,5 м² коллекторов) и собственного биогаза (0,77 м³/ночь) практически полностью, с минимальным использованием электрического нагрева. Суточное электропотребление (2,3 кВт·ч) покрывается фотоэлектрической системой 0,55 кВт и аккумулятором с ёмкостью 6 кВт·ч, обеспечивая энергетическую независимость системы (Табл.1). В целом, гибридный подход повышает энергоэффективность установки, позволяя утилизировать возобновляемые источники энергии (солнце и биогаз) максимально полно. Это снижает

эксплуатационные затраты и выбросы CO₂ и делает установку пригодной для применения в условиях отсутствия стабильного электропитания и в целях устойчивого обеспечения энергией аграрного хозяйства.

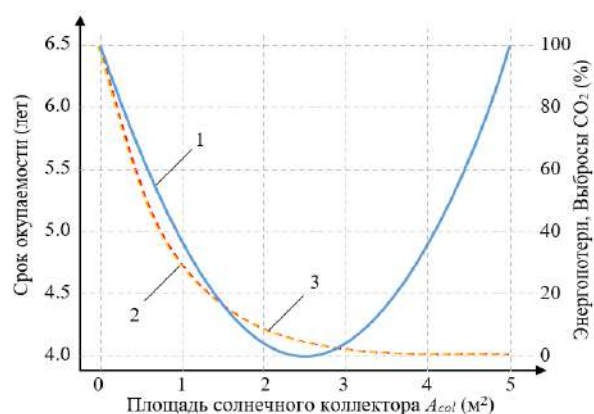
В Табл.1 представлены сводные характеристики исследуемой гибридной биогазовой установки.

На Рис.2 представлена влияние площади СВК (A_{col}) на критерии эффективности системы.

Таблица 1.

Сводные характеристики гибридной биогазовой установки

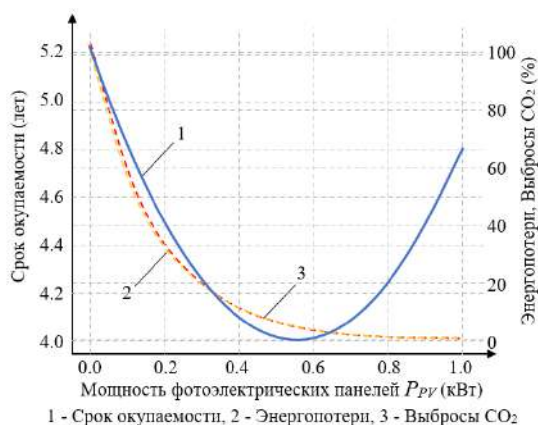
Параметр	Значение (ед.)	Примечание/источник
Объём биореактора, всего	0,5 м ³	полный объём реактора
Объём рабочий (субстрат)	0,35 м ³	70% заполнения
Масса загруженного субстрата	402,5 кг	при $\rho=1150$ кг/м ³ , влажность 90%
Влажность субстрата	90%	(сухое вещество 40 кг)
Рабочая температура субстрата	37 °C	мезофильный режим
Суточная потребность в тепле	6,2 кВт·ч/сут	для $\Delta T=12$ °C (с запасом 10%)
КПД СВК (теплоноситель)	70%	превращение солнца в тепло воды
КПД передачи тепла рубашкой	82%	от воды к субстрату
Совокупный КПД солнечного нагрева	57%	0,70-0,82
Необходимая энергия от солнца	10,8 кВт·ч/сут	для получения 6,2 кВт·ч в реактор
Рекомендуемая площадь СВК	2,5 м ²	при 4÷5 кВт·ч/м ² ·сут инсоляции
Выход биогаза за цикл (28 суток)	20 м ³	из 40 кг СВ при уд. выходе 0,5 м ³ /кг
Среднесуточный выход биогаза	0,7÷0,8 м ³ /сут	в условиях стабильной работы
Теплотворность биогаза (60% CH ₄)	6 кВт·ч/м ³	5,98 кВт·ч/м ³ принято в расчётах
Потребность биогаза на ночное отопление	0,77 м ³ /ночь	для 4,13 кВт·ч тепла
Доля ночного тепла, покрываемая биогазом	до 90%	по результатам расчёта
Суточное электропотребление оборудования	2,3 кВт·ч/сут	мешалка, насос, контроллер
Мощность ФЭС	550 Вт	площадь 2 м ² , КПД 21%
Выработка ФЭС (яркий день)	2,5 кВт·ч/сут	при >5 час эквив. солнца
Рекомендуемая аккумуляторная батарея	48 В, 120÷150 А·ч	5,7÷7,2 кВт·ч ёмкости
Резерв по электропитанию	2 суток без солнца	при батарее 6÷7 кВт·ч



1 - Срок окупаемости, 2 - Энергопотери, 3 - Выбросы CO₂

Рис.2. Качественное влияние площади СВК на критерии эффективности.

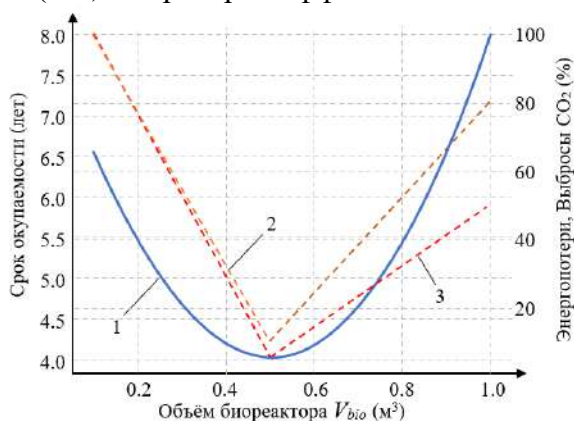
С ростом площади СВК A_{col} возрастает улавливаемая солнечная тепловая энергия, что сокращает потребность во внешнем тепле для подогрева биореактора. Как показано на графике, сначала увеличение A_{col} приводит к снижению срока окупаемости (синяя кривая) – система быстрее окупается за счёт экономии топлива. Одновременно энергопотери (оранжевая штриховая) и выбросы CO₂ (красная штрихпунктирная) падают, так как большая доля тепла покрывается солнцем вместо сжигания биогаза или ископаемого топлива. При достижении оптимальной области (A_{col} около 2÷3 м² для данного 0,5 м³ реактора) солнечного тепла хватает практически полностью закрыть теплотребности. Дальнейшее увеличение A_{col} даёт эффект насыщения: энергопотери и CO₂-эмиссии уже близки к нулю (всё тепло от солнца), а срок окупаемости начинает расти из-за непропорционально больших инвестиций в коллекторы. Избыточная площадь ведёт к лишним капитальным затратам и простаивающей мощности в летние периоды, не улучшая существенно энергоэффективность. Таким образом, слишком малый A_{col} (<1÷2 м²) приводит к высокой зависимости от внешнего топлива и большим выбросам, а слишком большой (>3 м²) – к перерасходу средств при минимальном добавочном эффекте. Оптимум лежит в диапазоне, где солнечная энергия покрывает 100% дневной потребности и значительную часть ночной – для данного проекта это около 2,5 м², обеспечивая минимальные потери и выбросы при наименьшем сроке окупаемости.



1 - Срок окупаемости, 2 - Энергопотери, 3 - Выбросы CO₂

Рис.3. Качественное влияние мощности ФЭС на критерии эффективности.

На Рис.3 представлена влияние мощности ФЭС (P_{PV}) на критерии эффективности системы.



1 - Срок окупаемости, 2 - Энергопотери, 3 - Выбросы CO₂

Рис.4. Качественное влияние объёма биореактора на критерии эффективности.

Увеличение установленной мощности ФЭС снижает потребление внешней электроэнергии для привода мешалок, насосов, нагревателей и др. потребителей. При нулевой или малой P_{PV} установка вынуждена брать 2÷3 кВт·ч/сут из сети или от генератора, что увеличивает энергопотери и связанные выбросы CO₂ (см. оранжевую и красную линии при $P_{PV} \rightarrow 0$). По мере роста P_{PV} эти показатели быстро уменьшаются – достаточно мощности ФЭС, чтобы покрыть суточное электропотребление оборудования (2,3 кВт·ч/сут). Срок окупаемости (синяя кривая) также сокращается, поскольку экономятся расходы на электроэнергию: например, при $P_{PV} 0.5 \div 0.6$ кВт (как в базе 550 Вт) солнечная генерация покрывает всё энергопотребление, и система становится автономной по электричеству. Дальнейшее

увеличение P_{PV} выше этого оптимума даёт меньший эффект. Энергопотери и CO₂-выбросы уже минимальны (вся энергия оборудования от ФЭС), поэтому излишняя мощность панелей либо простаивает (в автономной схеме), либо отдаётся во внешнюю сеть с низкой добавочной выгодой. В то же время большие фотоэлектрические массивы требуют значительных инвестиций и площади, удлинняя окупаемость. На графике после 0,55 кВт срок окупаемости начинает расти из-за перенасыщения фотоэлектрической системой. Таким образом, оптимальная P_{PV} – это мощность, достаточная для покрытия собственных нужд (для проекта 0,5÷0,6 кВт), при которой достигаются минимальные потери и выбросы. Меньшие значения приводят к расходованию внешней электроэнергии (увеличивая углеродный след), а большие – к неоправданным затратам при незначительном росте выработки.

На Рис. 4 представлена влияние объёма биореактора (V_{bio}) на критерии эффективности системы.

Объём реактора определяет количество субстрата, которое может одновременно находиться в переработке, и длительность анаэробного удерживания (регулирует степень разложения). При слишком малом V_{bio} (левая часть графика) субстрат не успевает полноценно переработаться (или приходится уменьшать суточную загрузку), что приводит к неполученному биогазу – высоким энергопотерям и выбросам CO₂ (невысвобожденный метан может выделяться при последующем хранении отходов). Кроме того, малая установка даёт мало энергии, а фиксированные расходы (капитальные, эксплуатационные) остаются, поэтому срок окупаемости сильно возрастает. С ростом V_{bio} сначала наблюдается резкое улучшение: увеличивается выход биогаза (больше топлива заменяет ископаемое), снижаются удельные потери и эмиссии. Срок окупаемости сокращается, так как большее производство энергии приносит больше экономии/дохода. Однако после достижения некоторого оптимума (для рассматриваемого случая 0,5 м³ рабочего объёма) дальнейшее увеличение V_{bio} даёт эффект убывающей отдачи. Если объём превышает

доступное количество сырья или необходимое для обеспечения разумного времени удерживания (30 дней), лишний объём будет недозагружен. При $V_{bio} > 0.5 \div 0.6 \text{ м}^3$ кривая окупаемости на графике идёт вверх: дополнительные капиталовложения в большой реактор не окупаются, поскольку производство биогаза уже ограничено притоком сырья. Энергопотери при этом растут из-за увеличения теплопотерь большого аппарата и траты энергии на поддержание пустующего объёма. Выбросы CO_2 также увеличиваются, ведь лишние энергозатраты (например, на обогрев большого объёма) частично компенсируются за счёт сжигания топлива. Таким образом, слишком большой реактор работает неэффективно – он дороже, требует больше тепла и электроэнергии на единицу полученного биогаза. Оптимальный диапазон V_{bio} определяется потребным временем ферментации и наличием сырья. В нашем случае оптимум $0,5 \text{ м}^3$ (70% заполнения $0,35 \text{ м}^3$ субстрата) обеспечивает 28 суток удерживания, близкое к полному сбраживанию 40 кг сухого вещества, при умеренных потерях тепла. При отклонении от этого объёма в меньшую сторону – неполная ферментация (невыстроенный потенциал энергии), в большую – перерасход ресурсов при почти том же выходе биогаза.

На Рис.5 представлено влияние температуры процесса (T) на критерии эффективности системы.

Температурный режим значительно влияет на скорость микробиологических реакций и выход биогаза. При низких температурах ($<30 \text{ }^\circ\text{C}$) процесс замедляется: выход газа невелик, хотя энергозатраты на подогрев минимальны. На графике слева видно, что при понижении T срок окупаемости быстро возрастает (синяя линия >8 лет), выбросы CO_2 также высоки – установка вырабатывает мало возобновляемой энергии и почти не замещает ископаемое топливо. Кроме того, в недоразложенном субстрате остаётся органика, которая при дальнейшем компостировании может выделить метан/ CO_2 , увеличивая суммарные эмиссии. С повышением температуры от психрофильных значений к мезофильным ($37 \text{ }^\circ\text{C}$) ситуация улучшается: выход метана резко растёт, выбросы CO_2 падают

(больше углерода утилизируется в биогазе вместо прямых выбросов). Одновременно умеренно увеличиваются и энергопотери – требуется подвод тепла $6 \text{ кВт}\cdot\text{ч/сут}$ для поддержания $37 \text{ }^\circ\text{C}$ (при $\Delta T=12 \text{ }^\circ\text{C}$), но эту потребность покрывает СВК и часть биогаза. В диапазоне $35 \div 40 \text{ }^\circ\text{C}$ достигается оптимум: максимальный выход биогаза при ещё умеренных затратах на нагрев. Для нашего реактора мезофильный режим $37 \text{ }^\circ\text{C}$ оказался близким к оптимальному по всем критериям (см. минимум кривых на графике в этой области). Дальнейший переход в термофильный режим ($50 \div 55 \text{ }^\circ\text{C}$) даёт прирост выработки метана (реакции идут быстрее) и улучшает обеззараживание, но требует существенно большего подвода тепла. Если СВК недостаточно, для поддержания высокой T приходится сжигать больше собственного биогаза или подключать электронагрев. Это проявляется в росте энергопотерь (оранжевая штриховая кривая идёт вверх после $40 \div 45 \text{ }^\circ\text{C}$) и увеличении условных выбросов CO_2 (красная линия растёт вследствие расхода дополнительного топлива). Срок окупаемости при этом начинает ухудшаться, так как часть произведённой энергии тратится на нагрев, снижается чистый выход на продажу/потребление. Кроме того, термофильные системы сложнее в эксплуатации (риск всплеск ацидогенеза, требования к изоляции), что может косвенно влиять на экономику.

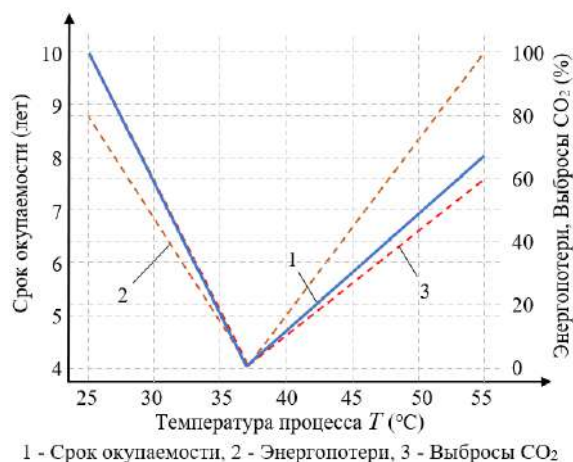
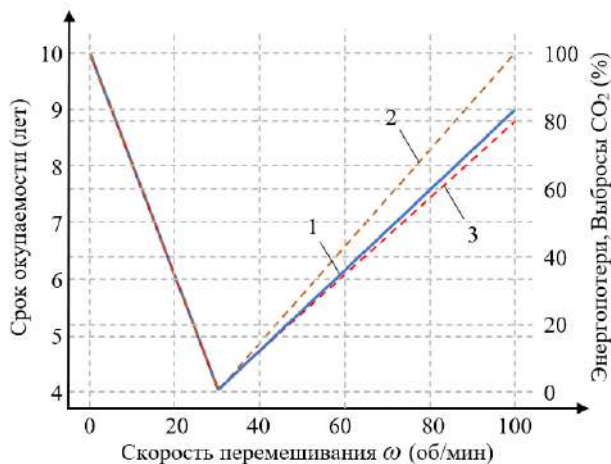


Рис.5. Качественное влияние температуры брожения на критерии эффективности.

Таким образом, зависимость показателей

от T носит нелинейный характер: имеется оптимальная точка (мезофильная зона $35\div 40\text{ }^{\circ}\text{C}$), при которой достигается наилучший баланс между выходом метана и затратами на его обеспечение. Ниже этого диапазона – низкая производительность и недоиспользованный потенциал сырья; значительно выше – рост затрат перевешивает рост выработки, снижая эффективность системы.

На Рис.6 представлена влияние скорости перемешивания (ω) на критерии эффективности системы.



1 - Срок окупаемости, 2 - Энергопотери, 3 - Выбросы CO₂

Рис.6. Качественное влияние интенсивности перемешивания на критерии эффективности.

Перемешивание субстрата обеспечивает равномерность температуры и распределение питательных веществ между микроорганизмами, поэтому умеренное мешание повышает выход биогаза. Однако работа мешалок потребляет электроэнергию и при чрезмерной интенсивности может даже подавлять метаногенез (из-за дестабилизации микрофлоры). График иллюстрирует наличие оптимума по скорости перемешивания. При $\omega \rightarrow 0$ (отсутствие мешания) среда в реакторе стратифицируется: образуются плавающая корка и осадок, снижается контакт микроорганизмов с субстратом. Это ведёт к неполному сбраживанию – часть органики не превращается в метан, что повышает энергопотери (нереализованная энергия в отходах) и связанные выбросы CO₂. В то же время затраты энергии на мешалку отсутствуют, поэтому срок окупаемости при

нулевом перемешивании не столь катастрофичен, как при нулевом отоплении, но всё же хуже оптимального (см. синюю кривую около 0 – окупаемость 10 лет). При увеличении ω от 0 до оптимального значения состояние улучшается: срок окупаемости сокращается (большой выход метана окупает расход энергии на мешалку), а потери и выбросы падают благодаря более полному извлечению энергии из субстрата.

Обобщение опыта эксплуатации таких установок показывают, что даже периодическое медленное перемешивание может увеличить выход биогаза на $20\div 30\%$ по сравнению с непромешиваемой средой. Например, низкая скорость 150 об/мин даёт больше газа, чем 25 об/мин в одном исследовании, но слишком высокая интенсивность >700 об/мин наоборот снизила выход. На графике оптимум 30% от максимальной скорости соответствует минимальным потерям и выбросам. В этой точке достигается лучшее соотношение: рост производства метана покрывает затраты энергии на мешалку. Если же ω продолжать увеличивать (правая часть графика), появляется эффект перенасыщения: биогазовый выход уже не растёт, даже может снижаться, а потребление электроэнергии на перемешивание возрастает нелинейно (мощность ω^3 для мешалок). Энергопотери (штриховая линия) резко растут – по оценкам, мешалка на высоких оборотах может потреблять до 54% всей энергии, потребляемой установкой. Это приводит к удлинению срока окупаемости (при $\omega \rightarrow 100\%$ он вновь приближается к $8\div 9$ годам) и увеличению выбросов CO₂, поскольку лишняя электроэнергия либо берётся из внешней сети (углеродный след), либо отбирается от выработанного биогаза, снижая чистый экологический эффект. Таким образом, перемешивание имеет ярко выраженный нелинейный характер влияния: отсутствие мешания и чрезмерное мешание одинаково нежелательны. Рекомендуется выбирать умеренную скорость/режим перемешивания (например, периодическое включение мешалки), при котором достигается максимальный выход газа при минимуме затрат энергии.

Выводы. Развитие гибридной солнечно-биогазовой установки требует балансировки

множества параметров для достижения наилучшей эффективности. Проведённый качественный анализ показал, что для каждого из ключевых параметров существует оптимальный диапазон, при котором одновременно минимизируются срок окупаемости, энергопотери и выбросы CO₂. При отклонении от этого диапазона показатели системы резко ухудшаются из-за либо недоиспользования потенциала (в случае недостаточных значений параметров), либо убывающей отдачи и роста внутренних затрат (в случае чрезмерных величин).


В частности, оптимальными для рассматриваемой небольшой ГБУ оказались: площадь СВК порядка 2÷3 м², мощность PV-панелей 0,5÷0,6 кВт, объём биореактора 0,5 м³, мезофильный температурный режим 35÷40 °С и умеренная скорость перемешивания. В этих условиях система способна практически полностью удовлетворять свои энергетические потребности за счёт солнечной энергии, сводя

внешние энергозатраты и выбросы CO₂ к минимуму. При этом нелинейный характер влияния подтверждает необходимость комплексного подхода при проектировании: увеличение параметра улучшает эффективность лишь до определённого предела, после которого дополнительные инвестиции или усложнение системы не оправдывают себя. Данные выводы могут служить основой для методики многокритериальной оптимизации ГБУ. Главным практическим результатом является демонстрация того, что сбалансированная конфигурация (согласование размеров солнечных систем, биореактора и режимов работы) способна обеспечить высокую энергоэффективность и экологичность без чрезмерного увеличения стоимости или сложности системы. Это подчёркивает целесообразность тщательного подбора каждого параметра на этапе проектирования гибридных биогазовых установок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан №561 от 25 октября 2023 г. Об утверждении Национальной таксономии «зелёной» экономики.
- [2] Указ Президента Республики Узбекистан №УП-5 от 4 января 2024 г. О мерах по совершенствованию системы управления отходами и снижению их негативного воздействия на экологическую обстановку.
- [3] Roldán-Porta, C., Roldán-Blay, C., Dasí-Crespo, D., & Escrivá Escrivá, G. (2023). Optimising a biogas and photovoltaic hybrid system for sustainable power supply in rural areas. *Applied Sciences*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/app13042155>
- [4] Avezova, N. R., Matchanov, N. A., & Usmanov, A. Y. (2025). Hybrid biogas plants: Economic viability and environmental benefits. *Alternative Energy*, 1(16), 71–81.
- [5] Аvezова, Н. Р., Тоиров, О. З., & Усманов, А. Ю. (2024). Гибридные биогазовые установки: технологии и перспективы. *Проблемы информатики и энергетики*, (5), 76–92.
- [6] O‘z DSt 2798:2017. (2017). Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам.
- [7] Ennemiri, N., Berrada, A., Emrani, A., Abdelmajid, J., & El Mrabet, R. (2024). Optimization of an off-grid PV/biogas/battery hybrid energy system for electrification: A case study in a commercial platform in Morocco. *Energy Conversion and Management: X*, 21, 100508. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100508>
- [8] Nasserredine, M., Nassreddine, G., & El Arid, A. (2024). Hybrid photovoltaic and biogas system for stable power system. *Next Energy*, 5, 100172. <https://doi.org/10.1016/j.nxener.2024.100172>
- [9] Бугаков, А. Г., Аvezова, Н. Р., Мирзабаев, А. М., Вохидов, А. У., & Усманов, А. Ю. (2018). Солнечно-биогазовая система энергообеспечения биореактора [Патент на полезную модель № FAP 01315 (UZ)]. *Официальный бюллетень Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан*, №8.

UDC: 667.612.675

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.27

STUDY OF THE CHANGES IN RHEOLOGICAL AND ADHESIVE PROPERTIES THROUGH THE MODIFICATION OF LIQUID GLASS



Murodov Doston

Doctoral Student, Department of
Chemical Technology, Bukhara
State Technical University,
Bukhara, Uzbekistan
E-mail: doston_ximik@mail.ru
ORCID ID: 0009-0000-3840-413X



Niyozov Alisher

Associate Professor Vice-Rector for
Academic Affairs, Bukhara
Innovation University,
Bukhara, Uzbekistan
E-mail: a.niyozov2500@mail.ru



Akhmedov Vokhid

Professor, Head of the Department
of Chemical Technology, Bukhara
State Technical University,
Bukhara, Uzbekistan
E-mail: voxid7@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-4634-7814



Beshimov Isлом

PhD, Department of Chemical
Technology, Bukhara State
Technical University, Bukhara,
Uzbekistan
E-mail:
islombeshimov0757@mail.ru
ORCID ID: 0009-0001-5430-649C

Abstract. This paper discusses the development of a modified, environmentally safe adhesive based on liquid glass (sodium silicate $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$) with enhanced adhesion efficiency to wood. The sodium silicate used fully complies with the requirements of GOST 13078–81 and TU 6-18-003-87, with a silicate modulus of 2.6–2.8 and a solid residue content of 31–33%. An oligomer based on thiourea and glycerol was used as a modifier. The experiments were carried out by mixing the modifier with liquid glass in various mass ratios (5%, 10%, 15%). The experimental results showed that the modification process significantly improved the rheological and mechanical properties of the adhesive. At the optimal 10% modifier content, the adhesion strength increased from 2.28 MPa to 3.15 MPa (an increase of 27.6%), while water resistance rose from 62% to 82%. The viscosity was approximately 230 mPa·s, which fully meets the industrial range specified in GOST 13078–81 (200–250 mPa·s). The resulting modified adhesive does not release formaldehyde, is non-toxic, and environmentally safe, providing high adhesion and water resistance for wood bonding. The obtained results form a scientific and practical basis for expanding the use of modified sodium silicate-based adhesives in woodworking, construction, and furniture industries.

Keywords: wood adhesive, sodium silicate, bonding strength, curing technology, adhesion, eco-friendly glue, modifier, water resistance.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ И АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПРИ МОДИФИКАЦИИ ЖИДКОГО СТЕКЛА

**Муродов Достон
Мухсин угли**

Докторант кафедры химической
технологии Бухарского
государственного технического
университета,
Бухара, Узбекистан

**Ниёзов Алишер
Камилович**

Доцент, проректор по учебной
работе Бухарского
инновационного университета,
Бухара, Узбекистан

**Ахмедов Вохид
Низомович**

Профессор, заведующий
кафедрой химической технологии
Бухарского государственного
технического университета,
Бухара, Узбекистан

**Бешимов Ислам
Акмаджонович**

PhD, Кафедра химической
технологии Бухарского
государственного технического
университета,
Бухара, Узбекистан

Аннотация. В данной статье рассматривается получение модифицированного, экологически безопасного клея на основе жидкого стекла (натриевого силиката $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$) с повышенной эффективностью адгезии к древесине. Используемый натриевый силикат полностью соответствует требованиям ГОСТ 13078–81 и ТУ 6-18-003-87, имеет силикатный модуль 2,6–2,8 и массовую долю сухого остатка 31–33%. В качестве модификатора применялся олигомер на

основе тиомочевины и глицерина. Эксперименты проводились при смешивании модификатора с жидким стеклом в различных массовых соотношениях (5%, 10%, 15%). Результаты экспериментов показали, что процесс модификации существенно улучшает реологические и механические свойства клея. При оптимальном содержании модификатора (10%) адгезионная прочность увеличилась с 2,28 до 3,15 МПа (на 27,6%), а водостойкость — с 62% до 82%. При этом вязкость составляла около 230 мПа·с, что полностью соответствует промышленному диапазону, установленному ГОСТ 13078–81 (200–250 мПа·с). Полученный модифицированный клей не выделяет формальдегид, является нетоксичным и экологически безопасным связующим материалом, обеспечивающим высокую адгезию и устойчивость к влаге при склеивании древесины. Полученные результаты создают научно-техническую основу для расширения применения модифицированных силикатных клеев в деревообрабатывающей, строительной и мебельной промышленности.

Ключевые слова: деревянный клей, натрий силикат, прочность сцепления, технология отверждения, адгезия, экологический клей, модификатор, водостойкость.

SUYUQ SHISHANI MODIFIKATSIYALASH ORQALI REOLOGIK, ADGEZION XOSSALARI O'ZGARISHINING TADQIQI

**Murodov Doston Muhsin
o'g'li**

Tayanch doktorant, Buxoro davlat
texnika universiteti,
Buxoro, O'zbekiston

**Niyozov Alisher
Kamilovich**

Dotsent, Buxoro innovatsiyalar
universiteti, Buxoro, O'zbekiston

**Axmedov Voxid
Nizomovich**

Professor, Buxoro davlat texnika
universiteti, Buxoro, O'zbekiston

**Beshimov Islom
Akmaljonovich**

PhD, Buxoro davlat texnika
universiteti, Buxoro, O'zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada yog'ochga nisbatan yopishish samaradorligi oshirilgan, suyuq shisha (natriy silikat $Na_2O \cdot nSiO_2$) asosida tayyorlangan modifikatsiyalangan, ekologik xavfsiz elim olish masalasi ko'rib chiqilgan. Ishlatilgan natriy silikat GOST 13078–81 va TU 6-18-003-87 talablariga to'liq javob beradi, uning silikat moduli 2,6–2,8, quruq qoldiqning massaviy ulushi esa 31–33% ni tashkil qiladi. Modifikator sifatida tiomochevina va glitserin asosida sintez qilingan oligomer qo'llanilgan. Tajribalar modifikatorni suyuq shisha bilan turli massaviy nisbatlarda (5%, 10%, 15%) aralashtirish orqali o'tkazildi. Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, modifikatsiya jarayoni elimning reologik va mexanik xususiyatlarini sezilarli darajada yaxshilaydi. Modifikatorning optimal miqdori (10%) da yopishish mustahkamligi 2,28 MPa dan 3,15 MPa gacha (27,6%) oshgan, suvga chidamlilik esa 62% dan 82% gacha ko'tarilgan. Shu bilan birga, elimning qovushoqligi 230 mPa·s ni tashkil etgan bo'lib, bu GOST 13078–81 da belgilangan 200–250 mPa·s sanoat me'yorlariga to'liq mos keladi. Olingan modifikatsiyalangan elim formaldehid ajratmaydi, toksik bo'lmagan va ekologik xavfsiz bog'lovchi material hisoblanadi, u yog'ochni yopishtirishda yuqori adgeziya va namlikka bardoshlilikni ta'minlaydi. Olingan natijalar modifikatsiyalangan silikat yelimlarni yog'ochga ishlov berish, qurilish va mebel sanoatida keng qo'llash uchun ilmiy-texnik asos yaratadi.

Kalit so'zlar: yog'och elim, natriy silikat, yopishish mustahkamligi, qotish texnologiyasi, adgeziya, ekologik yelim, modifikator, suvga chidamlilik.

Introduction. At present, the main components of widely used wood adhesives are organic compounds based on urea-formaldehyde, phenol-formaldehyde, and melamine-formaldehyde resins. Such formaldehyde-based organic adhesives hold a dominant position in the field of wood adhesives due to their high bonding properties [1-3]. However, the production, storage, and application

of such formaldehyde-containing organic adhesives continuously release toxic aldehyde compounds, which cause serious harm to all living organisms, including human health [4-5].

Currently, the development of environmentally friendly, non-toxic adhesives that do not harm the atmosphere has become an important research direction in the field of wood

adhesives [6-7].

Inorganic adhesives based on silicates are distinguished by a number of advantages — non-toxicity, high heat resistance, strong bonding strength, low shrinkage stress, and good workability [8–10]. Therefore, they are widely used for bonding materials such as metal, ceramics, glass, stone, and soil [11–12]. Adhesives based on liquid glass (sodium silicate) are applied in various fields, including aerospace, mechanical engineering, electronics, the chemical industry, construction, and many others.

Despite the information mentioned above, the use of silicate adhesives directly for wood is rare because these adhesives are brittle and lack water resistance. Therefore, to adapt silicate adhesives for wood materials, reinforcement through modification is necessary.

In our previous studies, we published our research results on the synthesis of a modifier based on thiourea and glycerol [13]. According to the data presented in scientific articles and dissertations [14–15], properly modified silicate adhesive can be successfully used for bonding wood and is capable of replacing traditional organic adhesives. The incorporation of silicate into wood adhesive, on the one hand, expands the application range of silicate adhesives, and on the other hand, makes it possible to create an environmentally safe adhesive that completely eliminates the problem of toxic compounds released from organic adhesives.

This plays an important role in improving the level of wood adhesive technology and modernizing the wood-based panel industry. The bonding efficiency of adhesives is directly related to the curing technology [16–18]. Therefore, to achieve the highest bonding performance, it is necessary to compare different curing processes and determine the optimal curing technology.

Methods. For the experimental work, we used sodium silicate (liquid glass, $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$) as the main binding component. The liquid glass employed fully complies with the requirements of GOST 13078–81 “Sodium Liquid Glass. Technical Specifications.” According to the standard, the silicate modulus ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) of the sodium silicate solution should be within the range of 2.4–3.0, the mass fraction of dry residue should be 25–35%, and the density should be 1.35–1.45 g/cm³. This

normative range ensures the optimal viscosity, ease of processing, and adhesion characteristics of the adhesive composition.

The technical characteristics of the sodium silicate used in our experiments are as follows: silicate modulus 2.6–2.8, mass fraction of dry residue 31–33%, viscosity (at 25°C) 140–160 mPa·s, and pH value 11.0–11.5. Such a composition falls within the requirements of TU 6-18-003-87 “Technical Specifications for Silicate Adhesives and Composite Binders” and provides a stable chemical environment during polycondensation modification processes.

As a modifier, we used an organic composite product synthesized in our laboratory [13]. The synthesis process was carried out in such a way as to maintain chemical stability compatible with the highly alkaline environment of the sodium silicate solution. The modifier contains amino, hydroxyl, and thiourethane groups, which are capable of forming covalent bonds with the $-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-$ network of the silicate matrix, thereby providing additional structural strength within the adhesive layer.

During the preparation of the modified adhesive, liquid glass was mixed with the modifier at different mass ratios (5%, 10%, and 15%). The mixtures were homogenized in a mechanical stirrer at a speed of 400 rpm for 15 minutes. The viscosity of the adhesive was determined using a capillary viscometer in accordance with GOST 8420–74 at 25°C, and the curing time was evaluated at 105°C according to GOST 14760–69. The obtained data made it possible to determine the relationship between the amount of active components in the adhesive composition and its viscosity.

To determine the bonding strength, poplar wood specimens with dimensions of 100×20×5 mm were prepared. The wood surface was sanded, cleaned from dust, and the adhesive was applied evenly on both surfaces at a consumption rate of 200–240 g/m². The specimens were tested under three different curing regimes: a) natural curing (at 25°C for 24 hours), b) thermal curing (at 80°C for 2 hours), c) curing under pressure (at 0.75 MPa and 60°C for 1 hour).

The tested specimens were examined using a universal testing machine Instron 3365 in accordance with GOST 14760–69 “Adhesives.

Method for determining the shear strength of bonded joints.” For each regime, five repeated measurements were carried out, and the average value was calculated based on statistical analysis. The bonding strength was determined using the formula $\sigma = F/S$ (MPa), where F is the breaking force, and S is the bonded surface area. Suvga chidamlilik sinovi GOST 12120–76 asosida olib borildi. The bonded specimens were immersed in water at a temperature of 20°C for 24 hours, after which changes in their mass and bonding strength were determined, and the post-immersion strength was evaluated using the formula $R = (\sigma_2/\sigma_1) \times 100\%$.

The rheological behavior of the adhesive was studied using a Brookfield DV-II+ viscometer. Measurements were carried out in the temperature range of 20–60°C at rotation speeds of 5–100 rpm. The obtained flow curves (τ – γ) were used to analyze the effect of modification on viscosity and deformation behavior. Statistical analysis was performed using the Statistica 10.0 software, and the reliability of the data was determined based on the Student’s t-test at a significance level of $p < 0.05$.

These experimental results make it possible to thoroughly study the physicochemical and rheological properties of liquid-glass-based modified adhesives that comply with the requirements of GOST 13078–81 and TU 6-18-003-87. The obtained types of adhesives are distinguished by being environmentally safe, non-toxic, water-resistant, and having high adhesion to wooden surfaces.

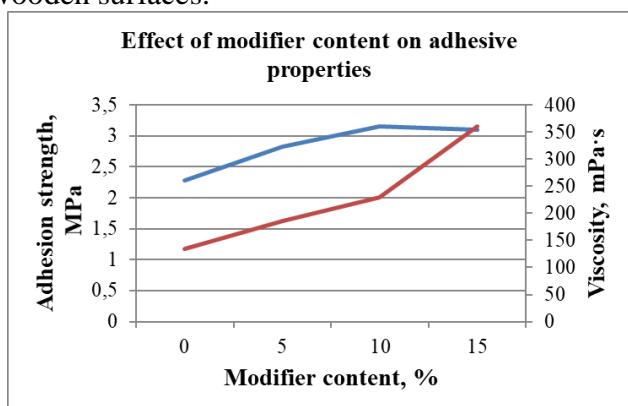


Fig.1. Effect of modifier content on adhesive properties.

Results. The liquid glass ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$) used in the experiments had a silicate modulus of 2.6–2.8. At this modulus value, the $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ratio in the

solution is optimal, maintaining a balance between the stability and reactivity of the silicate network. When the silicate modulus is below 2.4, the solution becomes excessively alkaline, accelerating the hydrolysis process on the wood surface; when it is above 3.0, the solution becomes overly viscous, resulting in decreased adhesion. Therefore, a silicate modulus in the range of 2.6–2.8 was found to be optimal for achieving effective chemical adhesion with wood.

The average viscosity of the unmodified pure silicate adhesive was 135 mPa·s, while its adhesion strength was 2.28 MPa. With the introduction of the modifier, the molecular interactions within the adhesive composition intensified, resulting in positive changes in its rheological parameters. The experimental results are presented in Table 1.

Table 1.

Effect of modifier content on adhesive characteristics

№	Modifier content, %	Curing time, min	Water resistance, %
1	0	35	62
2	5	42	75
3	10	48	82
4	15	65	79

As can be seen from Figure 1 and Table 1, with the increase in the modifier content, both the viscosity and adhesion strength of the adhesive increased to a certain extent. However, when the modifier concentration reached 15%, the viscosity rose excessively (up to 360 mPa·s), resulting in poorer spreadability of the adhesive and uneven curing of the layer. Therefore, a 10% mass fraction of the modifier was determined to be optimal. At this ratio, the adhesion strength of the adhesive reached 3.15 MPa, which is approximately 27.6% higher than that of pure liquid glass.

The water resistance of the adhesive also increased significantly — while the post-immersion strength of the unmodified adhesive was 62%, this value rose to 82% at 10% modification. This indicates that the incorporation of the modifier into the silicate network leads to the formation of new bonds, which reduce the interaction of the adhesive matrix with water molecules.

When the rheological analysis of the adhesive was carried out using a Brookfield viscometer, all samples exhibited non-Newtonian fluid behavior. According to the analysis of the flow curves (τ – γ),

the viscosity decreased with increasing shear rate, indicating a pseudoplastic character. This property ensures the easy spreading of the adhesive over the surface and good penetration into the substrate. At 10% modification, the measured dynamic viscosity was 230 mPa·s, which falls within the most favorable range for processing (200–250 mPa·s, in accordance with GOST 13078–81 and TU 6-18-003-87 standards).

Discussion. The above results indicate that the thiourea–glycerol–formaldehyde-based modifier forms chemical bonds within the liquid glass matrix, thereby improving the mechanical and rheological properties of the adhesive layer. The amino and hydroxyl groups of the modifier interact with the –Si–O– bonds of the silicate network through hydrogen exchange reactions, leading to the formation of new –Si–O–C– type bonds. As a result, the plasticity of the adhesive layer increases, microcrack formation is reduced, and water resistance is enhanced.

Most importantly, the resulting modified adhesive does not release formaldehyde, is environmentally safe, and serves as a non-toxic binder that complies with the standards GOST 13078–81 and TU 6-18-003-87. The 10% modification level is recommended as the optimal composition for wood-based materials, as it provides the most balanced ratio of adhesion

strength, viscosity, and water resistance.

Conclusions. As a result of the conducted studies, it was proven that the modification of liquid glass ($\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$)-based adhesives with organic modifiers significantly improves their physicochemical and rheological properties. The addition of the modifier in a 10% mass fraction increased the adhesion strength of the adhesive from 2.28 MPa to 3.15 MPa, i.e., by 27.6%, while the water resistance increased from 62% to 82%.

Rheological analyses showed that the modified adhesives belong to the class of pseudoplastic non-Newtonian fluids, in which viscosity decreases with increasing shear rate. This property ensures easy spreading of the adhesive over the surface and good penetration into the substrate. At the optimal 10% modification, the viscosity reached 230 mPa·s, which falls within the industrial standard range of 200–250 mPa·s.


In general, the conducted research demonstrates the possibility of creating a new generation of environmentally friendly adhesive compositions through the organic modification of liquid glass. These results have scientific and technical significance for practical applications in the fields of silicate chemistry, materials science, and wood technology.

REFERENCES

- [1] Potin, P., & Leblanc, C. (2006). Phenolic-based adhesives of marine brown algae. In A. M. Smith & J. A. Callow (Eds.), *Biological adhesives* (pp. 105–119). Springer.
- [2] Rowell, R. M. (2005). Handbook of wood chemistry and wood composites (pp. 253–261). CRC Press.
- [3] Mamiński, M. Ł., Król, M. E., Grabowska, M., & Głuszyński, P. (2011). Simple urea–glutaraldehyde mix used as a formaldehyde-free adhesive: Effect of blending with nano- Al_2O_3 . *European Journal of Wood and Wood Products*, 69(3), 505–506.
- [4] Tohmura, S. I., Hse, C. Y., & Higuchi, M. (2000). Formaldehyde emission and high-temperature stability of cured urea–formaldehyde resins. *Journal of Wood Science*, 46(4), 303–309.
- [5] Weimer, P. J., Conner, A. H., & Lorenz, L. F. (2003). Solid residues from *Ruminococcus* cellulose fermentations as components of wood adhesive formulations. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 63(1), 29–34.
- [6] Moubarik, A., Charrier, B., Allal, A., Charrier, F., & Pizzi, A. (2010). Development and optimization of a new formaldehyde-free cornstarch and tannin wood adhesive. *European Journal of Wood and Wood Products*, 68(2), 167–177.
- [7] Yang, I., Kuo, M. L., Myers, D. J., & Pu, A. B. (2006). Comparison of protein-based adhesive resins for wood composites. *Journal of Wood Science*, 52(6), 503–508.

- [8] Sarawade, P. B., Kim, J. K., Hilonga, A., Quang, D. V., & Kim, H. T. (2011). Effect of drying technique on the physicochemical properties of sodium silicate-based mesoporous precipitated silica. *Applied Surface Science*, 258(2), 955–961.
- [9] Torkaman, J. (2010). Improvement of bondability in rice husk particleboard made with sodium silicate. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. Ancona, Italy.
- [10] Akhmedov, V., Kamolova, Z., & Olimov, B. (2024). Modification method of sodium silicate. *Universum: технические науки*, (3), Article 120. <https://cyberleninka.ru/article/n/modification-method-of-sodium-silicate>
- [11] Liu, X., Zhang, X., Long, K., Zhu, X., Yang, J., Wu, Y., Luo, S., & Yang, S. (2012). PVA wood adhesive modified with sodium silicate cross-linked copolymer. *Biobase Material Science and Engineering (BMSE 2012)*, 108–111. <https://doi.org/10.1109/BMSE.2012.6466192>
- [12] Liu, P. H., Li, Z. J., & Yang, F. (2003). Research on PVA–water glass recombination of semi-IPN technique. *Technological Development of Enterprise*, 10, 10–12.
- [13] Murodov, D. M., Akhmedov, V. N., & Niyozov, A. K. (2024). Synthesis of thiourethane oligomer based on ethylene glycol. *Universum: технические науки*, 10(127). <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/18410>
- [14] Liu, X., Wu, Y., Zhang, X., & Zuo, Y. (2015). Study on the effect of organic additives and inorganic fillers on properties of sodium silicate wood adhesive modified by polyvinyl alcohol. *BioResources*, 10(1), 1528–1542.
- [15] Yang, X. L., Wu, Y. Q., Zhang, X. M., & Liu, X. M. (n.d.). Effect of curing technology on bonding properties of silicate wood adhesive. (*Qo'lyozma / maqola tafsiloti to 'liq ko'rsatilmagan*)
- [16] Zhang, X. L., Wu, Y. Q., Yang, S. L., & Liu, X. M. (2014). Effect of curing technology on bonding properties of silicate wood adhesive. *Materials Research Innovations*, 18(Suppl 2), S2-532–S2-536. <https://doi.org/10.1179/1432891714Z.000000000478>
- [17] Udawatte, C. P., Yanagisawa, K., Kamakura, T., Matsumoto, Y., & Yamasaki, N. (2000). Hardening of hydrothermal hot-pressed calcium silicate compacts with rice husk as fiber reinforcement. *Materials Research Innovations*, 3(5), 297–301.
- [18] Fan, D. B., Chang, J. M., Li, J. Z., Xia, B. H., & Sang, Z. T. (2011). Cure properties and adhesive performances of cure-accelerated phenol–urea–formaldehyde resins. *European Journal of Wood and Wood Products*, 69(2), 213–220.

UDC: 547.722: 544.5: 66.091

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.10

REVIEW OF 5-HMF SYNTHESIS: CATALYSIS AND TECHNOLOGIES



Sitmuratov Tulkinbek Sabirbayevich

Department of Chemical Technologies, Urgench State University,
Urgench, Uzbekistan

E-mail: tulkinbek@urdu.uz

ORCID ID: 0009-0000-8701-9107



Rakhmatullina Alevtina Petrovna

Department of Synthetic Rubber Technology, Kazan National
Research Technological University, Kazan, Russia

E-mail: rah-al@yandex.ru

ORCID ID: 0000-0002-1417-8964

Abstract. 5-Hydroxymethylfurfural (5-HMF) is recognized as a key platform molecule in the bioeconomy, serving as a precursor for the production of biofuels (2,5-dimethylfuran, 5-ethoxymethylfurfuryl ether), biopolymers (2,5-furandicarboxylic acid), and pharmaceutical intermediates. This review systematizes modern approaches to the synthesis of 5-HMF from carbohydrate feedstocks of varying complexity – from monosaccharides (fructose, glucose) to cellulose and lignocellulosic biomass (rice straw). Catalytic systems (homogeneous acids, ionic liquids, heterogeneous catalysts, including functionalized silica gel $\text{SiO}_2\text{-Imi-SO}_3\text{H}$ and sulfated zeolite $\text{HSO}_3\text{-ZSM-5}$), solvent effects (dimethyl sulfoxide, biphasic water/organic solvent systems, including dichloromethane/tetrahydrofuran), process intensification methods (ultrasound, microwaves), and strategies for suppressing side reactions are analyzed in detail. The main pathways of 5-HMF chemical transformation are discussed, along with techno-economic and environmental aspects of production based on life cycle assessment (LCA) and bibliometric analysis. Key challenges (catalyst and separation costs, stability) and promising research directions (low-cost bifunctional catalysts, deep eutectic solvents, process integration, electrochemical methods, use of non-food biomass) are identified.

Keywords: 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF), biomass, carbohydrate dehydration, fructose, glucose, cellulose, ionic liquids, heterogeneous catalysts, biphasic systems, platform molecules, renewable feedstocks, biofuels, furandicarboxylic acid (FDCA).

ОБЗОР 5- ГМФ СИНТЕЗА: КАТАЛИЗ И ТЕХНОЛОГИИ

Ситмуратов Тулкинбек Сабирбаевич

Кафедра химических технологий, Ургенчский
государственный университет, Ургенч, Узбекистан

Рахматуллина Алевтина Петровна

Кафедра технологии синтетического каучука, Казанский
национальный исследовательский технологический
университет, Казань, Россия

Аннотация. 5-Гидроксиметилфурфурол (5-ГМФ) признан ключевой платформенной молекулой в биоэкономике, служащей предшественником для производства биотоплива (2,5-диметилфурана, 5-этоксиметилфурфурилового эфира), биополимеров (2,5-фурандикарбоновой кислоты) и фармацевтических промежуточных продуктов. В данном обзоре систематизированы современные подходы к синтезу 5-ГМФ из углеводного сырья различной сложности - от моносахаридов (фруктозы, глюкозы) до целлюлозы и лигноцеллюлозной биомассы (рисовой соломы). Подробно проанализированы каталитические системы (однородные кислоты, ионные жидкости, гетерогенные катализаторы, включая функционализированный силикагель $\text{SiO}_2\text{-Imi-SO}_3\text{H}$ и сульфатированный цеолит $\text{HSO}_3\text{-ZSM-5}$), эффекты растворителей (диметилсульфоксид, двухфазные системы воды/органических растворителей, включая дихлорметан/тетрагидрофуран), методы интенсификации процессов (ультразвук, микроволны)

и стратегии подавления побочных реакций. Обсуждаются основные пути химического превращения 5-ГМФ, а также технико-экономические и экологические аспекты производства на основе оценки жизненного цикла (ОЦ) и библиометрического анализа. Определены ключевые проблемы (стоимость катализатора и сепарации, стабильность) и перспективные направления исследований (низкозатратные бифункциональные катализаторы, глубинные эвтектические растворители, интеграция процессов, электрохимические методы, использование непищевой биомассы).

Ключевые слова: 5-гидроксиметилфурфурол (5-ГМФ), биомасса, дегидратация углеводов, фруктоза, глюкоза, целлюлоза, ионные жидкости, гетерогенные катализаторы, двухфазные системы, платформенные молекулы, возобновляемые сырьевые материалы, биотопливо, фурандикарбоновая кислота (ФДКА).

5-HMF SINTEZI SHARHI: KATALIZ VA TEXNOLOGIYALAR

Sitmuratov Tulkinbek Sabirbayevich

Urganch davlat universiteti Kimyoviy texnologiyalar kafedrası,
Urganch, O'zbekiston

Rakhmatullina Alevtina Petrovnas

Qozon milliy texnologik tadqiqotlar universiteti Sintetik kauchuk
texnologiyasi kafedrası, Qozon, Rossiya

Annotatsiya. 5-Gidroksimetilfurfuril (5-GMF) bioyoqilg'ilar (2,5-dimetilfuran, 5-etoksimetilfurfuril efir), biopolimerlar (2,5-furankarbon kislotasi) va farmatsevtik oraliq mahsulotlar ishlab chiqarish uchun prekursor sifatida xizmat qiladigan bioiqtisodiyotda asosiy platforma molekulasini sifatida tan olingan. Ushbu sharhda turli murakkablikdagi uglevod xom ashyosidan - monosaxaridlardan (fruktoza, glyukoza) sellyuloza va lignotsellyuloza biomassasigacha (sholi somoni) 5-GMF sinteziga zamonaviy yondashuvlar tizimlashtirilgan. Katalitik tizimlar (gomogen kislotalar, ionli suyuqliklar, geterogen katalizatorlar, shu jumladan funkcionallashgan silikagel $\text{SiO}_2\text{-Imi-SO}_3\text{H}$ va sulfatlanagan seolit $\text{HSO}_3\text{-ZSM-5}$), erituvchilar ta'siri (dimetilsulfoksid, ikki fazali suv/organik erituvchilar tizimlari, shu jumladan dixlormetan/tetragidrofuran), jarayonlarni jadallashtirish usullari (ultratovush, mikroto'liqlar) va qo'shimcha reaksiyalarni bostirish strategiyalari batafsil tahlil qilingan. 5-GMF ni kimyoviy o'zgartirishning asosiy yo'llari, ishlab chiqarishning texnik-iqtisodiy va ekologik jihatlari hayotiy siklni baholash (TSB) va bibliometrik tahlil asosida muhokama qilinadi. Asosiy muammolar (katalizator va ajratish xarajatlari, barqarorlik) va istiqbolli tadqiqot yo'nalishlari (arzon bifunksional katalizatorlar, chuqur evtektik erituvchilar, jarayon integratsiyasi, elektrokimyoviy usullar, nooziq-ovqat biomassasidan foydalanish) aniqlangan.

Kalit so'zlar: 5-gidroksimetilfurfuril (5-GMF), biomassa, uglevodlar degidratatsiyasi, fruktoza, glyukoza, sellyuloza, ion suyuqliklar, geterogen katalizatorlar, ikki fazali tizimlar, platforma molekulasini, qayta tiklanadigan xomashyolar, bioyoqilg'ilar, furankarbon kislotasi (FDKK).

Introduction. The transition from fossil resources to renewable feedstocks is a central challenge for the sustainable development of the chemical industry in the 21st century [1, 2]. In this context, 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) stands out as one of the most promising platform molecules, identified both by the U.S. National Laboratories and the European Bioeconomy Platform [3]. Its unique structure, combining aldehyde, hydroxyl, and furan functional groups, makes 5-HMF a versatile building block for the synthesis of a wide range of valuable products [3, 4, 5]. Catalytic reduction of 5-HMF yields liquid biofuels such as 2,5-dimethylfuran (DMF) and 5-

ethoxymethylfurfuryl ether (EMF), which are competitive with conventional gasoline in terms of energy density [6, 7]. Oxidation of 5-HMF produces 2,5-furandicarboxylic acid (FDCA), regarded as an environmentally friendly alternative to terephthalic acid in the production of polyethylene furanoate (PEF) – a biopolymer with outstanding barrier properties [8, 9, 10]. The annulated furan ring of 5-HMF also serves as a basis for the synthesis of diverse heterocyclic compounds used in pharmaceuticals and fine organic synthesis [3, 5, 11].

Despite its significant potential, large-scale industrial production of 5-HMF still faces serious

challenges [2, 12]. The key issues include:

1. Selectivity and yield: The need to minimize complex side reactions (formation of humins, levulinic acid, and formic acid) [13, 14, 15];

2. Feedstock base: Economic feasibility and sustainability of using food-derived sugars (fructose) vs. the potential of non-food lignocellulose [16, 17, 18];

3. Catalysts: The search for highly active, selective, stable, and regenerable catalytic systems that combine availability with environmental safety [2, 19, 12];

4. Separation and purification: High energy demand and cost of isolating 5-HMF from reaction mixtures, particularly aqueous systems [20, 21, 22];

5. Scaling up: Transition from laboratory methods to pilot and industrial-scale plants [23, 24].

The aim of this review is to provide a systematic analysis of recent advances in the synthesis of 5-HMF from renewable carbohydrate feedstocks, with a focus on developed catalytic systems (including promising heterogeneous catalysts), technological aspects (choice of solvent, extraction, process intensification), utilization of complex biomass, as well as an evaluation of economic and environmental prospects based on up-to-date data. Special attention is given to recent studies that reflect current research trends.

Feedstock for 5-HMF Synthesis. The success of 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) synthesis largely depends on the choice of raw material, which is typically carbohydrates with varying degrees of polymerization. The simplest and most efficient route is to use monosaccharides, such as fructose, which can be easily converted into 5-HMF with high yields. At the same time, more abundant and cheaper feedstocks, such as polysaccharides (e.g., cellulose), require additional steps: first, hydrolysis to break down complex polymers into simple sugars (mainly glucose), followed by their conversion into 5-HMF. Thus, the choice of feedstock represents a compromise between high efficiency (with fructose) and economic feasibility (with cellulose) [25, 26, 27].

Monosaccharides. Fructose: Considered the optimal feedstock due to its ketohexose structure, which readily undergoes dehydration. Yields of 5-HMF from fructose in dipolar aprotic solvents (DMSO) with acid catalysts can reach 90–96% [28,

29, 21, 30]. The dehydration mechanism involves consecutive steps of enolization, dehydration, and cyclization [14, 30, 63]. However, the high cost of food-grade fructose limits its industrial application. Low-temperature synthesis methods of 5-HMF from fructose, developed in [31], improve the energy efficiency of the process.

Glucose: As the primary monomer of cellulose, glucose is economically attractive. However, efficient conversion to 5-HMF requires prior isomerization into fructose [32]. This additional step reduces the overall 5-HMF yield (typically to 50–70%) and complicates the process [33, 34]. The key lies in developing bifunctional catalysts (e.g., Sn- β [48], HSO₃-ZSM-5 [17]) that combine Lewis acid sites (for isomerization) and Brønsted acid sites (for dehydration).

Disaccharides and Polysaccharides. Sucrose (glucose + fructose) and inulin (a fructose polymer) can also serve as feedstocks but require preliminary hydrolysis into monosaccharides [27]. Oligosaccharides formed during partial hydrolysis of cellulose are also of interest.

Cellulose. Direct conversion of cellulose to 5-HMF is a challenging task due to its crystallinity, the stability of β -1,4-glycosidic bonds, and its tendency to form side products. Yields rarely exceed 30% [25, 35, 36, 37, 38, 39, 40]. The most successful approaches include:

- Use of ionic liquids (ILs) as solvents and catalysts (e.g., with CrCl₃) [35, 41, 42];
- Combined systems with strong Lewis acids (e.g., metal chlorides) in ILs or water at elevated temperatures [36, 38, 41];
- Application of solid acids (sulfated zirconia SO₄²⁻/ZrO₂, zeolites) in biphasic media [19, 43].

Lignocellulosic Biomass. The use of non-food biomass (agricultural residues, wood, energy crops) is the most promising direction in terms of sustainability and economics [16, 17, 18, 44]. However, its complex composition (cellulose, hemicellulose, lignin) requires multi-step processing:

- **Pretreatment:** Physical (milling), physico-chemical (steam explosion, AFEX), or chemical (acidic, alkaline, oxidative) methods to break down lignin and hemicellulose and increase cellulose

accessibility [17, 45];

- *Cellulose hydrolysis*: A key step in obtaining 5-HMF from biomass, aimed at breaking long cellulose chains into simpler sugars, primarily glucose. This can be achieved in two main ways [17, 32]: by enzymatic hydrolysis, using specific enzymes such as cellulases and hemicellulases, or by chemical hydrolysis, catalyzed by dilute acids. The former is more environmentally friendly but slower, while the latter is faster but requires harsher conditions and careful control to prevent glucose degradation into byproducts;

Table 1

Comparison of the efficiency of converting various feedstocks into 5-HMF

Feedstock	Catalyst/System	Catalyst/System	5-HMF Yield, %	Ref.
Fructose	[C ₄ C ₁ im][HSO ₄] (IL)	IL, 120 °C, 30 min	96	[29]
Fructose	SiO ₂ -Imi-SO ₃ H	DMSO, 160 °C, 4 h	94.1	[46]
Glucose	Al ₂ O ₃ в [C ₄ C ₁ im]Cl	IL, 120 °C, 3 h	70	[33]
Glucose	HSO ₃ -ZSM-5	DMSO, 140 °C, ultrasound-assisted	54.1	[17]
Glucose	Sn-β	Water, 160–190 °C	~50 (лит.)	[32]
Cellulose	CrCl ₃ в [C ₄ C ₁ im]Cl	IL, 140 °C, 2 h	62	[41]
Cellulose	Hafnyl phosphate	Biphasic (water/MIBK), 180 °C, 5 h	52	[43]
Rice straw	HSO ₃ -ZSM-5 (+ cellulase, pretreatment)	Water, 140 °C, ultrasound-assisted (multistep)	54.1	[17]
Кукурузная Corn stover	SO ₄ ²⁻ /TiO ₂ in IL	IL, 140 °C, 2 h	45	[47]

Catalytic conversion: Isomerization of glucose and dehydration of the resulting fructose into 5-HMF [17]. Combining hydrolysis and dehydration in a single “one-pot” process is an active area of research. An example of successful

implementation is the conversion of rice straw with a 54.1% 5-HMF yield after alkaline pretreatment, enzymatic hydrolysis, and HSO₃-ZSM-5 catalysis under ultrasound [17].

Note: Ultrasound-assisted (UA) – ultrasonic treatment; IL – ionic liquid; DMSO – dimethyl sulfoxide; MIBK – methyl isobutyl ketone; lit. – literature data.

Catalytic Systems. The catalyst plays a crucial role in determining the selectivity and efficiency of carbohydrate dehydration to 5-HMF. Research has focused on overcoming the limitations of traditional systems and developing highly efficient, stable, and regenerable catalysts [2, 12, 19, 61].

Homogeneous Catalysts. *Mineral acids (H₂SO₄, HCl, H₃PO₄)*: They are highly active and readily available. The yield of 5-HMF from fructose in DMSO can reach 89% [48]. However, they have significant drawbacks: strong corrosiveness, difficulties with regeneration and reuse, formation of large amounts of by-products (humins, levulinic acid), especially in aqueous media, and the need for neutralization that generates salt wastes [13, 15, 48]. The kinetics of 5-HMF degradation into levulinic acid are well documented [13].

Organic acids (levulinic, oxalic, p-toluenesulfonic acid): Considered a more “green” alternative to mineral acids due to lower corrosivity and, in some cases, better selectivity [7]. However, their activity is often lower and costs are higher.

Ionic liquids (ILs): These are salts that are liquid below 100 °C. They have proven to be exceptionally effective media and catalysts (especially chlorometallate ILs, e.g., with CrCl₃, AlCl₃) for the conversion of fructose (yields up to 96% [29]), glucose (up to 70% [33]), and even cellulose (up to 62% [41]). Key advantages include low volatility, high solubilizing ability for biomass, good thermal stability, and tunable acid–base properties [29, 35, 40, 41, 49, 60]. Critical drawbacks that limit industrial application are high viscosity, challenges in regeneration and product purification, potential toxicity of certain ILs, and above all, very high cost [12, 29, 35].

Heterogeneous Catalysts. This is a rapidly developing research area since heterogeneous catalysts potentially overcome the drawbacks of homogeneous systems: they can be easily separated

from the reaction mixture, regenerated, and reused [12, 17, 19, 32, 34, 43, 46, 47, 50, 51, 65].

Acidic resins and zeolites: Ion-exchange resins (e.g., Amberlyst) are effective for fructose dehydration, especially in organic solvents or biphasic systems [49]. Zeolites (protonated and modified forms) are attractive due to their structure, thermal stability, and tunable acidity. Sulfonated zeolite HSO₃-ZSM-5 has proven to be an efficient bifunctional catalyst for glucose and real biomass (rice straw) conversion with yields up to 54.1%, maintaining activity due to ultrasound-assisted treatment that enhances mass transfer [17].

Functionalized mesoporous materials: These are designed to introduce active sites on high-surface-area supports (SiO₂, Al₂O₃, carbon). An example is SiO₂-Imi-SO₃H, synthesized by immobilizing a sulfonated ionic liquid fragment on silica gel [46]. It combines strong Brønsted acidity (from IL) with the operational benefits of a heterogeneous catalyst. In DMSO, it provides a 94.1% yield of 5-HMF from fructose at 160 °C within 4 h and retains >85% activity after 5 regeneration cycles. Its properties were confirmed by IR spectroscopy, XRD, TGA, and EDS analysis [46].

Sulfated metal oxides (SO₄²⁻/M_xO_y): These exhibit strong Brønsted acidity and high thermal stability. They are effective for fructose and glucose dehydration (SO₄²⁻/ZrO₂, SO₄²⁻/TiO₂, SO₄²⁻/SnO₂) [19, 34, 47, 64]. SO₄²⁻/TiO₂ in IL achieved a 45% 5-HMF yield from corn stover [47].

Metal-based heterogeneous catalysts: Catalysts containing Sn, Cr, Al, Zr, Ga, or Fe often provide Lewis acid sites, which are essential for glucose isomerization. Sn-β zeolite shows high selectivity in converting glucose to fructose and subsequently to 5-HMF in water [32]. Chromium-based systems (e.g., Cr phosphates, Cr on supports) are also active, but issues of Cr leaching and toxicity need to be addressed [50, 43]. The use of Pd catalysts on mesoporous zirconosilicates for hydrogenation of 5-HMF and its derivatives has also shown promising results [52].

Phosphates and other salts: Metal phosphates and hydrogen phosphates (e.g., of cerium, zirconium, hafnium) have delivered good results in biphasic systems. Hafnium phosphate enabled a 52% 5-HMF yield from cellulose in a water/MIBK

biphasic system [43].

Table 2
Comparison of main types of catalysts for 5-HMF synthesis

Catalyst Type	Example	Main Advantages	Main Disadvantages	Feedstock (Yield)	Ref.
Homogeneous acids	H ₂ SO ₄	High activity, low cost	Corrosion, difficult regeneration, salt wastes	Fructose (89%)	[48]
Ionic liquids	[C ₄ C ₁ im][HSO ₄]/CrCl ₃	High yield, low volatility, dissolves cellulose	High viscosity, very high cost, Cr toxicity	Fructose (96%), Cellulose (62%)	[29], [41]
Acid resins	Amberlyst-15	Easy separation, regeneration	Limited thermal stability	Fructose (high)	[49]
Sulfated oxides	SO ₄ ²⁻ /TiO ₂	Strong Brønsted acidity, thermal stability	Possible SO ₄ ²⁻ leaching	Glucose (moderate), Biomass (45%)	[47], [34]
Functionalized materials	SiO ₂ -Imi-SO ₃ H	High activity/selectivity, stability, regenerable	Relatively complex synthesis	Fructose (94.1%)	[46]
Zeolites (bifunctional)	HSO ₃ -ZSM-5	Bifunctionality (Lewis + Brønsted), regenerable, ultrasound-stable	Moderate activity with glucose	Glucose (54.1%), Biomass (54.1%)	[17]
Metal-containing	Sn-β	High selectivity for glucose isomerization, "green" catalyst	Moderate dehydration activity, synthesis complexity	Glucose (~50%)	[32]
Metal phosphates	Hafnium phosphate	Effective in biphasic systems with cellulose	High Hf cost	Cellulose (52%)	[43]

Technological Aspects of Synthesis

Role of Solvents. Water as a solvent in the oxidation of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) to 2,5-furandicarboxylic acid (FDCA) has limited application due to its role in side reactions. The presence of water in the reaction medium promotes the hydration of HMF, leading to the cleavage of the furan ring and the formation of levulinic and formic acids. This undesirable pathway actively competes with the main reaction, reducing selectivity to below 50% and making the process economically inefficient and purification-intensive. For this reason, researchers are exploring alternative solvents less prone to hydration to improve yields, as discussed in [13, 14].

In the production of HMF from fructose, dimethyl sulfoxide (DMSO) as a solvent allows high yields of up to 94.1% [28, 30]. This is because DMSO, unlike water, is an aprotic solvent that does not participate in undesired hydration side reactions of fructose or HMF. However, despite its efficiency, DMSO presents two significant drawbacks: difficulties in product separation due to the similar polarity of HMF and DMSO, and the toxicity of the solvent itself, which makes the process less

environmentally friendly and challenging for industrial scale-up.

Biphasic systems such as dichloromethane/tetrahydrofuran (DCM/THF) have been effectively applied to HMF synthesis. Their main advantage is that HMF generated in the aqueous phase is immediately extracted into the organic phase, preventing decomposition and polymerization. This continuous removal of product from the reaction zone (according to patent EP3424914A1) [1] shifts the equilibrium toward HMF formation, enabling >90% extraction efficiency and significantly improving overall yields, compared to homogeneous aqueous systems where HMF undergoes side reactions, as discussed by Binder J.B. and Raines R.T. (2009) [20, 21].

Ionic liquids such as $[C_4C_{1im}][HSO_4]$ act as highly efficient solvents and catalysts for HMF production. They allow impressive yields up to 96% [29, 41, 60], significantly higher than those obtained in aqueous media. This is attributed to their ability to stabilize intermediates and suppress side reactions such as hydration and polymerization. However, their industrial application remains limited due to high viscosity, which hinders mixing, heat and mass transfer, as well as product separation and solvent recycling, making the process technically complex and expensive.

Process Intensification. Ultrasound is used to improve HMF yields from rice straw. Ultrasonic irradiation increases yields by 15–20%, primarily by de-agglomerating biomass particles [17]. This process breaks down large straw aggregates, increasing the surface area accessible to catalysts and solvents, thereby enhancing reaction efficiency and improving conversion of raw material to HMF.

Microwave irradiation provides another route for intensifying HMF synthesis. Its main advantage is rapid and uniform heating of the reaction mixture from within, drastically reducing reaction times from hours to minutes. This makes the process more efficient and cost-effective. For example, microwave-assisted conversion of straw achieves yields of 50–60% [45], demonstrating that microwaves not only accelerate the process but also enable acceptable yields even from complex biomass feedstocks. The fast, controlled heating minimizes side reactions typical of prolonged conventional heating and helps preserve HMF.

Microreactors represent a modern approach for HMF production, offering precise control over reaction conditions. Unlike conventional large-scale reactors, microreactors have very small volumes, enabling accurate regulation of temperature, pressure, and residence time. Such precision significantly enhances process selectivity by minimizing undesired byproducts such as humins or levulinic acid, ultimately improving HMF yields [53].

Suppression of Side Reactions. Strategies: Reaction time control is one of the key approaches for efficient HMF synthesis. Optimal reaction times typically range from 30 to 120 minutes [13]. If too short, the feedstock (e.g., fructose or biomass) does not fully convert to HMF, lowering yields. If too long, HMF, being unstable, degrades via hydration into levulinic acid or polymerizes into humins, which reduces yields and complicates purification.

Use of phase modifiers (e.g., NaCl) in biphasic systems enhances HMF extraction and reduces its residence time in the aqueous phase [22].

In situ extraction is a critical method to address HMF instability in aqueous media. The principle is that freshly formed HMF in the aqueous phase is immediately extracted into an immiscible organic phase, minimizing contact with water. This prevents degradation into side products such as levulinic acid and substantially increases overall yields, as confirmed, for example, by the Avalon Industries AG patent (EP3424914A1) [20].

Table 3
Selected chemical transformations of 5-HMF and their applications

Product	Synthesis Method	Application	Yield (%)	Reference
2,5-Dimethylfuran (DMF)	Hydrodeoxygenation over Pt–Co/C	Biofuel (energy density ≈ 30 MJ/L)	>90	[6]
FDCA (2,5-Furandicarboxylic acid)	Oxidation over Pt/Au catalysts	Biopolymers (PET alternative)	85–95	[8, 10]
5-Ethoxymethylfurfural (EMF)	Etherification with H_2SO_4	Diesel fuel additive	>90	[7]

Pharmaceuticals. The synthesis of heterocycles for anti-inflammatory drugs [5, 11]. Wittig reactions using 5-HMF enable the formation of furan-2-enones, which are considered promising intermediates for pharmaceutical applications [54].

Techno-Economic Analysis

Bibliometric Data. In recent years, there has been a noticeable shift in scientific research: after 2010, 72% of all publications focused on heterogeneous catalysts. This is not accidental. Unlike “liquid” catalysts that mix with the product and are difficult to separate afterwards, heterogeneous catalysts are solid substances. They can be easily removed from the reaction mixture and reused. Such an approach makes production not only cheaper but also more environmentally friendly, since it reduces waste generation and allows valuable materials to be recycled multiple times [2, 44].

In recent years, the United States and China have taken leading positions in research related to heterogeneous catalysts. According to available data, the United States accounts for about 550 scientific papers, while China accounts for 500 [44]. This indicates that these countries are key players in the development of new, more efficient, and environmentally friendly catalysts for the chemical industry.

Key Economic Barriers

Raw material costs. The cost price of the final product directly depends on the price of the feedstock. For example, the use of expensive fructose (\$500–700 per ton) leads to a high production cost of 5-HMF (over \$2000 per ton). At the same time, switching to low-cost feedstock, such as rice straw (\$50–100 per ton), can reduce the cost to \$800–1200 per ton [18, 24].

Separation costs. Product purification and separation from the reaction mixture represent one of the most expensive stages. Separation costs can reach 60–70% of total capital expenditures due to the complexity of the process and the need to isolate pure 5-HMF, as well as recycle the catalyst and solvent [12, 30].

Catalyst stability. The efficiency and economics of production directly depend on the catalyst’s lifetime. For example, the SiO₂-Imi-SO₃H catalyst loses 15% of its activity after just 5 cycles [46], which requires frequent regeneration or replacement, thereby increasing overall costs.

Environmental Assessment (LCA)

Emission reduction. The production of 5-HMF from biomass is a more environmentally friendly process compared to petrochemical routes.

It allows for a 40–60% reduction in carbon dioxide (CO₂) emissions, contributing to climate change mitigation [18].

Environmental risks. Despite its advantages, the process is not without drawbacks. Some catalysts, for example those containing chromium (Cr), are toxic. Their use requires strict safety measures. In addition, the release of solvents such as dimethyl sulfoxide (DMSO) into water bodies may lead to eutrophication — rapid algae growth that harms aquatic ecosystems [24, 62].

Conclusion and Perspectives

Achievements:

Bifunctional catalysts. Researchers have developed new, highly efficient catalysts such as HSO₃-ZSM-5 and SiO₂-Imi-SO₃H. They are called “bifunctional” because they can perform two tasks simultaneously: first hydrolyzing complex polysaccharides (e.g., cellulose) into simpler sugars, and then converting these sugars into 5-HMF. This approach has significantly increased 5-HMF yields from cellulose, reaching over 50% [4, 7].

Optimization of biphasic systems. Biphasic systems such as dichloromethane (DCM)/tetrahydrofuran (THF) have also been improved. These systems consist of two immiscible liquids. The 5-HMF formed in one phase is immediately transferred to the other, organic phase. This helps protect 5-HMF from decomposition and polymerization, ultimately increasing product yield and purity [20].

Challenges:

The economic feasibility of 5-HMF production remains questionable if the product yield is below 60%. At low yields, most of the valuable feedstock is consumed in the formation of unwanted byproducts, making the process unprofitable.

Another serious problem is the degradation of catalysts under real operating conditions. Many catalysts that show excellent results in laboratory tests quickly lose their activity and stability during prolonged use or when working with complex feedstocks such as biomass. This requires frequent replacement or costly regeneration, increasing operational costs.

Future directions:

1. **Catalysts.** To reduce toxicity and production costs, researchers propose replacing expensive and harmful chromium (Cr)- and tin (Sn)-

based catalysts with safer and cheaper zeolites based on iron and aluminum (Fe/Al) [19, 38]. These new catalysts are not only economically advantageous but also less toxic, making the overall process greener.

2. *Solvents.* To avoid environmental risks associated with toxic solvents such as DMSO, safer alternatives are proposed, such as γ -valerolactone (γ -VL) [12]. This solvent is considered “green” since it is biodegradable and does not cause eutrophication of water bodies, unlike DMSO.

3. *Integrated biorefineries.* Integration of several stages into a single continuous process is another promising strategy. Instead of first synthesizing 5-HMF and then separately converting

it into 2,5-furandicarboxylic acid (FDCA), these stages can be combined into so-called integrated biorefineries [8, 24]. This approach significantly improves overall process efficiency, reduces costs, and minimizes waste.

Electrochemical methods. The development of electrochemical methods opens new opportunities for the synthesis of 5-HMF and its derivatives. This technology enables selective oxidation at room temperature [4], which is a huge advantage. Traditional methods often require high temperatures and pressures. The electrochemical approach is more energy-efficient and allows for more precise reaction control, minimizing the formation of byproducts.

REFERENCES

- [1] Jiang, Z., Zeng, Y., Hu, D., et al. (2023). Chemical transformations of 5-hydroxymethylfurfural into highly added value products: Present and future. *Green Chemistry*, 25, 871–892. <https://doi.org/10.1039/D2GC03444A>
- [2] Wang, H., Zhu, C., Li, D., et al. (2019). Recent advances in catalytic conversion of biomass to 5-hydroxymethylfurfural and 2,5-dimethylfuran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 227–247. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.010>
- [3] van Putten, R.-J., van der Waal, J. C., de Jong, E., et al. (2013). Hydroxymethylfurfural: A versatile platform chemical made from renewable resources. *Chemical Reviews*, 113(3), 1499–1597. <https://doi.org/10.1021/cr300182k>
- [4] Zhang, Z., & Huber, G. W. (2018). Catalytic oxidation of carbohydrates into organic acids and furan chemicals. *Chemical Society Reviews*, 47(4), 1351–1390. <https://doi.org/10.1039/C7CS00213K>
- [5] Dutta, S., De, S., & Saha, B. (2012). A brief summary of the synthesis of polyester building-block chemicals and biofuels from 5-hydroxymethylfurfural. *ChemPlusChem*, 77(4). <https://doi.org/10.1002/cplu.201100035>
- [6] Thananattananachon, T., & Rauchfuss, T. B. (2010). Efficient production of the liquid fuel 2,5-dimethylfuran from fructose using formic acid as a reagent. *Angewandte Chemie International Edition*, 49(37), 6616–6618. <https://doi.org/10.1002/anie.201002267>
- [7] Dutta, S., Wu, L., & Mascal, M. (2015). Efficient, green, and scalable production of 5-ethoxymethylfurfural from fructose catalyzed by sulfuric acid. *ChemSusChem*, 8(10), 1711–1715. <https://doi.org/10.1002/cssc.201403481>
- [8] Sajid, M., Zhao, X., & Liu, D. (2018). Production of 2,5-furandicarboxylic acid (FDCA) from 5-hydroxymethylfurfural (HMF): Recent progress focusing on chemical catalytic routes. *Green Chemistry*, 20(24), 5427–5453. <https://doi.org/10.1039/C8GC02680G>
- [9] Kröger, M., Prüße, U., & Vorlop, K.-D. (2012). A new approach for the production of 2,5-furandicarboxylic acid by in situ oxidation of 5-hydroxymethylfurfural starting from fructose. *Topics in Catalysis*, 13(3), 237–242. <https://doi.org/10.1023/A:1009017929727>
- [10] Davis, S. E., Houk, L. R., Tamargo, E. C., et al. (2011). Oxidation of 5-hydroxymethylfurfural over supported Pt, Pd, and Au catalysts. *Catalysis Today*, 160(1), 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2010.06.004>
- [11] Ромашов, Л. В. (2017). Исследование свойств 5-(гидроксиметил)фурфурола и его применение в синтезе биологически активных соединений и их аналогов (Канд. диссертация).


- [12] Kuster, B. F. M. (1990). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF): A review focusing on its manufacture. *Starch – Stärke*, 42(8), 314–321. <https://doi.org/10.1002/star.19900420808>
- [13] Girisuta, B., Janssen, L. P. B. M., & Heeres, H. J. (2006). A kinetic study on the decomposition of 5-hydroxymethylfurfural into levulinic acid. *Green Chemistry*, 8(8), 701–709. <https://doi.org/10.1039/B518176C>
- [14] Antal, M. J., Mok, W. S. L., & Richards, G. N. (1990). Mechanism of formation of 5-(hydroxymethyl)-2-furaldehyde from D-fructose and sucrose. *Carbohydrate Research*, 199(1), 91–109. [https://doi.org/10.1016/0008-6215\(90\)84096-D](https://doi.org/10.1016/0008-6215(90)84096-D)
- [15] Jung, D., Körner, P., & Kruse, A. (2021). Kinetic study on the impact of acidity and acid concentration on the formation of 5-hydroxymethylfurfural (HMF), humins, and levulinic acid in the hydrothermal conversion of fructose. *Biomass and Bioenergy*, 154, 106231. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00507-0>
- [16] Sorokina, K. N., Taran, O. P., Medvedeva, T. B., & Parmon, V. N. (2017). Method for producing 5-hydroxymethylfurfural and ethanol from cellulose (Russian Patent RU2636004C1, November 17, 2017).
- [17] Wanninayake, P., Rathnayake, M., Thushara, D., & Gunawardena, S. (2022). Conversion of rice straw into 5-hydroxymethylfurfural: Review and comparative process evaluation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12, 1013–1047. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01351-x>
- [18] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). Global assessment of biomass resources for 5-HMF production: Technical potential and sustainability.
- [19] Dutta, S., De, S., Saha, B., et al. (2012). Advances in conversion of hemicellulosic biomass to furfural and upgrading to biofuels. *Catalysis Science & Technology*, 2(10), 2025–2036. <https://doi.org/10.1039/C2CY20235B>
- [20] Avalon Industries AG. (2019). Method for the extraction of (5-hydroxymethylfurfural, 5-HMF) (European Patent EP3424914A1, January 9, 2019).
- [21] Binder, J. B., & Raines, R. T. (2009). Simple chemical transformation of lignocellulosic biomass into furans for fuels and chemicals. *Journal of the American Chemical Society*, 131(5), 1979–1985. <https://doi.org/10.1021/ja808537j>
- [22] Román-Leshkov, Y., Chheda, J. N., & Dumesic, J. A. (2006). Phase modifiers promote efficient production of hydroxymethylfurfural from fructose. *Science*, 312(5782), 1933–1937. <https://doi.org/10.1126/science.1126337>
- [23] Wang, F.-F., Liu, C.-L., & Dong, W.-S. (2013). Highly efficient production of lactic acid from cellulose using lanthanide triflate catalysts. *Green Chemistry*, 15(8), 2091–2095. <https://doi.org/10.1039/C3GC40836A>
- [24] IEA Bioenergy Task 42. (2021). Techno-economic assessment (TEA) and life cycle assessment (LCA) of 5-HMF production routes.
- [25] Tunç, E., Hoşgün, E. Z., Hoşgün, H. L., & Bozan, B. (2023). Direct conversion of cellulose into 5-HMF by transition-metal doped montmorillonite catalyst in water. *Clays and Clay Minerals*, 71(1), 14–24. <https://doi.org/10.1007/s42860-023-00232-w>
- [26] Cao, Q., Guo, X., Guan, J., et al. (2011). A process for efficient conversion of fructose into 5-hydroxymethylfurfural in ammonium salts. *Applied Catalysis A: General*, 403(1–2), 98–103. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2011.06.018>
- [27] Chheda, J. N., Román-Leshkov, Y., & Dumesic, J. A. (2007). Production of 5-hydroxymethylfurfural and furfural by dehydration of biomass-derived mono- and polysaccharides. *Green Chemistry*, 9(4), 342–350. <https://doi.org/10.1039/B611568C>
- [28] Qi, X., Watanabe, M., Aida, T. M., et al. (2009). Efficient process for conversion of fructose to 5-hydroxymethylfurfural with ionic liquids. *Green Chemistry*, 11(9), 1327–1331. <https://doi.org/10.1039/B905975J>

- [29] Tao, F., Song, H., & Chou, L. (2011). Catalytic conversion of cellulose to chemicals in ionic liquid. *Carbohydrate Research*, 346(1), 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2010.10.022>
- [30] Amarasekara, A. S., Williams, L. D., & Ebede, C. C. (2008). Mechanism of the dehydration of D-fructose to 5-hydroxymethylfurfural in dimethyl sulfoxide at 150 °C: An NMR study. *Carbohydrate Research*, 343(18), 3021–3024. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2008.09.008>
- [31] Тарабанко, В. Е., Смирнова, М. А., Челбина, Ю. В., & Черняк, М. Ю. (2011). Low-temperature synthesis of 5-hydroxymethylfurfural. *Ximiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of Plant Materials]*, 9, 87–92.
- [32] Nikolla, E., Román-Leshkov, Y., Moliner, M., et al. (2011). “One-pot” synthesis of 5-(hydroxymethyl)furfural from carbohydrates using tin-beta zeolite. *ACS Catalysis*, 1(4), 408–410. <https://doi.org/10.1021/cs2000544>
- [33] Hu, S., Zhang, Z., Song, J., et al. (2009). Efficient conversion of glucose into 5-hydroxymethylfurfural catalyzed by a common Lewis acid SnCl₄ in an ionic liquid. *Green Chemistry*, 11, 1746–1749. <https://doi.org/10.1039/B914601F>
- [34] Yan, H., Yang, Y., Tong, D., et al. (2009). Catalytic conversion of glucose to 5-hydroxymethylfurfural over SO₄²⁻/ZrO₂ and SO₄²⁻/ZrO₂-Al₂O₃ solid acid catalysts. *Catalysis Communications*, 10(11), 1558–1563. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2009.04.020>
- [35] Eminov, S., Filippousi, P., Brandt, A., et al. (2016). Direct catalytic conversion of cellulose to 5-hydroxymethylfurfural using ionic liquids. *Inorganics*, 4(4), 32. <https://doi.org/10.3390/inorganics4040032>
- [36] Zhao, H., Holladay, J. E., Brown, H., et al. (2007). Metal chlorides in ionic liquid solvents convert sugars to 5-hydroxymethylfurfural. *Science*, 316(5831), 1597–1600. <https://doi.org/10.1126/science.1141199>
- [37] Wang, T., Nolte, M. W., & Shanks, B. H. (2014). Catalytic dehydration of C₆ carbohydrates for the production of hydroxymethylfurfural (HMF) as a versatile platform chemical. *Green Chemistry*, 16(2), 548–572. <https://doi.org/10.1039/C3GC41365A>
- [38] Deng, W., Liu, M., Zhang, Q., et al. (2010). Acid-catalysed direct transformation of cellulose into methyl glucosides in methanol at moderate temperatures. *Chemical Communications*, 46(15), 2668–2670. <https://doi.org/10.1039/B925723C>
- [39] Gallo, J. M. R., Trapp, M. A., Alonso, D. M., et al. (2013). Direct conversion of cellulose to levulinic acid and gamma-valerolactone using solid acid catalysts. *Catalysis Science & Technology*, 3(1), 306–309. <https://doi.org/10.1039/C2CY20689G>
- [40] Amarasekara, A. S., & Owereh, O. S. (2009). Hydrolysis and decomposition of cellulose in Brønsted acidic ionic liquids under mild conditions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(22), 10152–10155. <https://doi.org/10.1021/ie901047u>
- [41] Hu, L., Zhao, G., Tang, X., et al. (2013). Catalytic conversion of carbohydrates into 5-hydroxymethylfurfural over cellulose-derived carbonaceous catalyst in ionic liquid. *Bioresource Technology*, 148, 501–507. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.016>
- [42] Tao, F., Song, H., & Chou, L. (2010). Hydrolysis of cellulose by using catalytic amounts of FeCl₃ in ionic liquids. *ChemSusChem*, 3(11), 1298–1303. <https://doi.org/10.1002/cssc.201000184>
- [43] Antal, M. J., Mok, W. S. L., & Richards, G. N. (1990). Mechanism of formation of 5-(hydroxymethyl)-2-furaldehyde from D-fructose and sucrose. *Carbohydrate Research*, 199(1), 91–109. [https://doi.org/10.1016/0008-6215\(90\)84096-D](https://doi.org/10.1016/0008-6215(90)84096-D)
- [44] Faradis, R., Suryanto, A. B., Murwani, I. K. (2023). Conversion of cellulose to 5-hydroxymethylfurfural as sustainable energy: A bibliometric analysis by VOSviewer. *Journal of Environmental Science and Sustainable Development*, 6(2), 345–366. <https://doi.org/10.7454/jessd.v6i2.1158>

- [45] Yemiş, O., & Mazza, G. (2011). Acid-catalyzed conversion of xylose, xylan and straw into furfural by microwave-assisted reaction. *Bioresource Technology*, 102(15), 7371–7378. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.04.050>
- [46] Vinh, T. Ch. D., Thong, M. D., Thu, A. H., et al. (2024). A simple and efficient synthesis of 5-hydroxymethylfurfural from carbohydrates using acidic ionic liquid grafted on silica gel. *RSC Advances*, 14, 17480–17490. <https://doi.org/10.1039/D4RA02487G>
- [47] Yan, L., Liu, N., Wang, Y., Machida, H., & Qi, X. (2014). Production of 5-hydroxymethylfurfural from corn stalk catalyzed by corn stalk-derived carbonaceous solid acid catalyst. *Bioresource Technology*, 173, 462–466. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.148>
- [48] Kuster, B. F. M., & Temmink, H. M. G. (1977). The influence of pH and weak-acid anions on the dehydration of D-fructose. *Carbohydrate Research*, 54, 185–191. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(00\)84810-7](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)84810-7)
- [49] Qi, X., Watanabe, M., Aida, T. M., et al. (2008). Selective conversion of D-fructose to 5-hydroxymethylfurfural by ion-exchange resin in acetone/dimethyl sulfoxide solvent mixtures. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47(23), 9234–9239. <https://doi.org/10.1021/ie801016s>
- [50] Zhang, Z., & Zhao, Z. K. (2011). Production of 5-hydroxymethylfurfural from glucose catalyzed by hydroxyapatite supported chromium chloride. *Bioresource Technology*, 102(4), 3970–3972. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.11.098>
- [51] Smith, S. M. (2020). Heterogeneous catalysis for the conversion of sugars to 5-hydroxymethylfurfural (PhD thesis). University of Wisconsin–Madison.
- [52] Roldugina, E. A., Boronoev, M. P., Shakirov, I. I., & Kardasheva, Y. S. (2024). Hydrogenation of furfural, 5-hydroxymethylfurfural, and levulinic acid in the presence of a Pd catalyst supported on mesoporous zirconosilicate. *Journal of Applied Chemistry*, 97(1), 63–69. <https://doi.org/10.1134/S1070427224010080>
- [53] Zhang, H., Yu, Z., Tian, G., et al. (2020). Continuous synthesis of 5-hydroxymethylfurfural using deep eutectic solvents and its kinetic study in microreactors. *Chemical Engineering Journal*, 391, 123580. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123580>
- [54] Сахаютдинова, Г. Ф., Маликова, Р. Н., & Мустафин, А. Г. (2021). Efficient synthesis of 5-(hydroxymethyl)furan-2-enones via the Wittig reaction. *Bulletin of Bashkir University*, 26(3), 655–658.
- [55] Клушин, В. А., Болдырева, Е. В., Кашпарова, В. П., et al. (2017). Synthesis of 2,5-furandicarboxylic acid by selective oxidation of crude 5-hydroxymethylfurfural obtained from plant raw materials. *Proceedings of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences*, 4(196).
- [56] Chernyshev, V. M., Kravchenko, O. A., & Ananikov, V. P. (2017). Conversion of plant biomass into furan derivatives and sustainable access to a new generation of polymers, functional materials, and fuels. *Russian Chemical Reviews*, 86(5), 357–387. <https://doi.org/10.1070/RCR4700>
- [57] Smirnova, M. A., Tarabanko, V. E., Chernyak, M. Yu., & Morozov, A. L. (2012). Synthesis of 5-fluoromethylfurfural from halogen derivatives of hydroxymethylfurfural. In *Forest and Chemical Complexes — Problems and Solutions (Proc. All-Russian Scientific and Practical Conf., Krasnoyarsk, Oct. 25–26, 2012)*, Vol. 2, pp. 13–16. Krasnoyarsk: SibSTU Publishing.
- [58] Tivas, N. S., Chetvertneva, I. A., et al. (2024). Synthesis and biocidal properties of systems based on hydrocarbons and carbohydrates. *Russian Chemical Journal*, 68(2), 21–30. <https://doi.org/10.6060/rcj.2024682.3>
- [59] Moreau, C., Belgacem, M. N., & Gandini, A. (2004). Recent catalytic advances in the chemistry of substituted furans from carbohydrates and in the ensuing polymers. *Topics in Catalysis*, 27(1–4), 11–30. <https://doi.org/10.1023/B:TOCA.0000013537.13540.0e>

- [60] Lansalot-Matras, C., & Moreau, C. (2003). Dehydration of fructose into 5-hydroxymethylfurfural in the presence of ionic liquids. *Catalysis Communications*, 4(10), 517–520. [https://doi.org/10.1016/S1566-7367\(03\)00133-6](https://doi.org/10.1016/S1566-7367(03)00133-6)
- [61] Mercadier, D., Rigal, L., Gaset, A., et al. (1981). Synthesis of 5-hydroxymethyl-2-furancarboxaldehyde catalysed by cationic exchange resins. Part II. Kinetic studies. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 31(1), 503–508. <https://doi.org/10.1002/jctb.5030310155>
- [62] Rackemann, D. W., & Doherty, W. O. S. (2011). The conversion of lignocellulosics to levulinic acid. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 5(2), 198–214. <https://doi.org/10.1002/bbb.267>
- [63] Li, H., Yang, S., Saravanamurugan, S., et al. (2017). Glucose isomerization by enzymes and chemo-catalysts: Status and current advances. *ACS Catalysis*, 7(4), 3010–3029. <https://doi.org/10.1021/acscatal.6b03625>
- [64] Kılıç, E., & Yılmaz, S. (2015). Fructose dehydration to 5-hydroxymethylfurfural over sulfated TiO₂–SiO₂, Ti-SBA-15, ZrO₂, SiO₂, and activated carbon catalysts. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 54(19), 5220–5225. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b00628>
- [65] Modak, A., Mankar, A., Sonde, R. R., & Pant, K. K. (2023). One-pot conversion of glucose to 5-hydroxymethylfurfural under aqueous conditions using acid/base bifunctional mesoporous silica catalyst. *Renewable Energy*, 212, 97–111. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.05.058>

UO‘K: 541:678.74:614.841

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.11

POLIVINILXLORID VA MINERAL TO‘LDIRUVCHILAR ASOSIDA OLOVBARDOSH MATERIALLAR OLISH



Abdirashidov Durbek
Abdirashid o‘g‘li

Termiz davlat universiteti maqsadli
tayanch doktoranti, Termiz,
O‘zbekiston
E-mail:
durbek.abdirashidov95@mail.ru
ORCID ID: 0009-0007-5863-8938



Turayev Xayit
Xudoynazarovich

Termiz davlat universiteti k.f.d.,
professor, Termiz, O‘zbekiston
E-mail: hhturaev@rambler.ru
ORCID ID: 0000-0002-0627-5449



Tojiyev Panji Jovliyevich

Termiz davlat pedagogika instituti
t.f.d., professor, Termiz,
O‘zbekiston
E-mail: panjitojiyev74@gmail.com
ORCID ID: 0009-0000-3863-4744



Bozorov Lutfulla
Ubaydullayevich

Termiz davlat pedagogika instituti
t.f.d., professor, Termiz, O‘zbekiston
E-mail: lutfullo15@gmail.com
ORCID ID: 0009-0002-3747-7198

Annotatsiya. Ushbu maqolada bugungi zamonaviy qurilish industuriyasi uchun polivinilxlorid va mineral to‘ldiruvchilar asosida olovbardosh organik materiallar olish texnologiyasini yaratish zaruratining ilmiy asoslari hamda uning metodlari bayon qilingan. Mazkur maqolada ushbu yo‘nalishdagi ba‘zi tadqiqotlarning ilmiy asoslari, muallif tomonidan olib borilgan ilmiy izlanishlar natijasida olingan olovbardosh organik materiallarning tahlil usullari, kislorod indeksi, cho‘zilish va zarbaga bardoshlilik, tutun zaharliligi, kimyoviy va UV barqarorlik tahlillari keltirilgan.

Kalit so‘zlar: polimerlar, polivinilxlorid, mineral to‘ldiruvchilar, olovbardoshlik, organik materiallar, tahlil usullari, kislorod indeksi, cho‘zilish va zarbaga bardoshlilik, tutun zaharlilik, kimyoviy va UV barqarorlik.

ПОЛУЧЕНИЕ ОГНЕСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА И МИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Абдирашидов Дурбек
Абдирашид угли

Целевой базовый докторант
Термезского государственного
университета,
Термез, Узбекистан

Тураев Хаит
Худойназарович

Термезский государственный
университет, д.х.н., профессор,
Термез, Узбекистан

Тоджиев Панджи
Жовлиевич

Термезский государственный
педагогический институт, д.т.н.,
профессор, Термез, Узбекистан

Бозоров Лутфулла
Убайдуллаевич

Термезский государственный
педагогический институт, д.т.н.,
профессор, Термез, Узбекистан

Аннотация. В данной статье изложены научные основы необходимости создания технологии получения огнестойких органических материалов на основе поливинилхлорида и минеральных наполнителей для нужд современной строительной отрасли, а также методы её получения. В статье представлены научные основы некоторых исследований в этом направлении, методы анализа огнестойких органических материалов, полученных в результате научных исследований автора, кислородный индекс, удлинение и ударная вязкость, дымотоксичность, химическая и УФ-стойкость.

Ключевые слова: полимеры, поливинилхлорид, минеральные наполнители, огнестойкость, органические материалы, методы анализа, кислородный индекс, удлинение и ударная вязкость, дымотоксичность, химическая и УФ-стойкость.

OBTAINING REFRACTORY MATERIALS BASED ON POLYVINYL CHLORIDE AND MINERAL FILLERS

Abdirashidov Durbek

Abdirashid ugli

Targeted basic doctoral student of
Termez State University,
Termez, Uzbekistan

Turaev Khait

Khudoynazarovich

Doctor of Chemical Sciences,
Professor, Termez State University,
Termez, Uzbekistan

Tojiev Panji Jovlievich

Termez State Pedagogical Institute,
Doctor of Technical Sciences,
Professor, Termez, Uzbekistan

Bozorov Lutfulla

Ubaydullaevich

Termez State Pedagogical Institute,
Doctor of Technical Sciences,
Professor, Termez, Uzbekistan

Abstract. This article describes the scientific basis of the need to create a technology for obtaining fire-resistant organic materials based on polyvinyl chloride and mineral fillers for today's modern construction industry, as well as its methods. This article presents the scientific basis of some studies in this direction, methods of analysis of fire-resistant organic materials obtained as a result of the author's scientific research, oxygen index, elongation and impact resistance, smoke toxicity, chemical and UV stability.

Keywords: polymers, polyvinyl chloride, mineral fillers, fire resistance, organic materials, methods of analysis, oxygen index, elongation and impact resistance, smoke toxicity, chemical and UV stability.

Kirish. Bugungi zamonaviy iqtisodiyot barcha tarmoqlar singari kimyo sanoatida ham innovatsion yondashuvlar hamda nano texnologiyalar asosida ishlab chiqarishni tashkil etish zaruratini yuzaga chiqarmoqda. Xususan, "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning Taraqqiyot Strategiyasi" da belgilangan ustuvor maqsadlar tarkibida "Kimyo va gaz-kimyosi sohalarini rivojlantirish va tabiiy gazni qayta ishlash darajasini 8 foizdan 20 foizga yetkazish orqali kimyo sanoatida 2 milliard AQSH dollariga teng mahsulot ishlab chiqarish" [1] kabi masalalarning belgilanganligi ushbu yo'nalishda ilmiy tadqiqotlar olib borish ko'lamini yanada kengaytirishni taqazo etadi.

Bunda polivinilxloridni mahalliy mineral to'ldiruvchilar hamda galogensiz antipirenlar bilan to'yintirish asosida qurilish hamda avtomobil sanoatlari uchun olovbardosh organik materiallar ishlab chiqarish texnologiyasini yanada takomillashtirish alohida dolzarblik kasb etadi. Tahlillar ko'rsatadiki, polimerlar ichida PVX qurilishda katta miqdorda ishlatiladi. PVX AQSH qurilish tizimida 50 foiz, Yevropada 60 foiz foydalaniladi. Chunki, eskirmaydigan, pishiq, qattiq, yengil, zanglamaydigan, kimyoviy, iqlim va harorat ta'siriga chiqamli bo'lgan mazkur material yong'inga chidamliligi bilan ham ajralib turadi. O'rganishlarimiz ko'rsatadiki, uning tarkibiga mahalliy mineral to'ldiruvchilar hamda galogensiz qo'shimchalar, stabilizatorlar qo'shish orqali olovbardosh va ekologik xavfsiz, iqtisodiy samarali organik

materiallar olish mumkin.

Mazkur yo'nalishda doimiy ilmiy izlanishlar olib borish zaruratini nafaqat fan-texnika taraqqiyati, balki globalizatsiya jarayonlaridagi iqlim o'zgarishlari va undagi "anomal" issiqlik, turli texnogen hodisalar, shuningdek, aholi turar joylarida uchraydigan tasodifiy e'tiborsizlik, yoxud korxonalar va tashkilotlarda yong'in chiqishi kabi xavflarining yildan-yilga oshib borayotganligi ham asoslaydi. Chunki, yong'inni oldindan ko'rish, ushlab qolish, yoki, tezda jilovlash masalalarida o'ziga xos xususiyatlar va ba'zi obyektiv, subyektiv muammolarning mavjudligi insonlar hayoti va mulklari, bino-inshoatlari va atrof muhitga jiddiy zarar yetkazishi mumkin.

Metodologiya. Tadqiqotlarda olingan materiallarning fizik-kimyoviy tuzilishi va xossalari o'rganishda kislorod indeksi, rentgenfazaviy tahlil, infraqizil spektroskopiya, qiyosiy tahlil kabi usullardan foydalanilgan.

Adabiyot tahlili. Olovbardosh organik materiallarni olish va qo'llash texnologiyasini yaratish bo'yicha bir qator xorijiy hamda mahalliy olimlarimiz ilmiy izlanishlar olib borishgan. Masalan, mazkur yo'nalishda Chen Y., Tang T., Khaleghi, Cinausero N., Batistella A., Ling Sun, Sertsova A.A., Wennan Li, Yi-Wei Wang, Ruiqing Shen, Qingsheng Wang, Tripolitsin A.A., Yermina T.YU., Nikolaeva E.A., Almenbaev M.M., Zubkova N.S., Sabirzyanova R.N., Mikitayev A.K., Djalilov A.T., Samigov N.A., Nabiyeva I.A., Rafiqov A.S., Muxiddinov B.F., Turayev X.X., Akbarov X.I.,

Nurqulov F.N., Tojiyev P.J., Beknazarov X.S. kabi olimlarni alohida e'tirof etish mumkin.

Masalan, Chen Y., Wu Q., Li N., Tang T., Xie X., Zhang C., Zuo Y.lar tomonidan olib borilgan tadqiqot natijalari haqidagi maqolada polivinilxlorid (PVX) kompozitlarining olovga chidamliligini va tutun chiqarish xususiyatlarini yaxshilash maqsadida samarali olovbardosh tizim taklif etilgan. Kompozit tarkibiga antimoni(III) oksid (Sb_2O_3), talk, gidromagnesit va sink borat (Zn_3BO_6) kiritilib, ularning birgalikdagi ta'siri baholangan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, bunday kombinatsiya PVXning olovbardoshligini sezilarli darajada oshirib, Limiting Oxygen Index (LOI) qiymatini 27% dan yuqori ko'rsatkichga olib chiqqan. Shuningdek, tutun zichligining maksimal qiymati 46,7 % ga kamaygan. Termogravimetrik tahlil natijalari kompozitlarning termal barqarorligini $+45,3^\circ C$ ga oshganini ko'rsatgan. Shu bilan birga, kompozitlarning mexanik xossalari ham yaxshilangan: cho'zilish darajasi 234,9 % gacha va kuchlanish chidamliligi 25,8 MPa ga yetgan. Tadqiqot mualliflari tomonidan taklif etilgan olovga chidamli tizim ekologik jihatdan xavfsiz, iqtisodiy samarali va amaliy ahamiyatga ega bo'lib, ayniqsa qurilish sohasida ishlatiladigan PVX asosidagi materiallar uchun istiqbolli yechim sifatida baholangan [2; 1814-b.].

Khaleghi tomonidan nashr etilgan ilmiy maqolada polivinilxlorid asosida tayyorlangan melamin sianurat bilan boyitilgan kompozitlarning olovbardoshlik xossalari o'rganilgan. Asosiy e'tibor PVX materialiga olovga chidamlilik beruvchi komponent sifatida MCA (melamin sianurat)ni qo'shish orqali termik barqarorlikni oshirishga qaratilgan. Tadqiqotda eksperimental sinovlar bilan bir qatorda kvant-kimyoviy hisoblashlar orqali parchalanish mexanizmlari ham aniqlangan. Natijalarga ko'ra, melamin sianurat modifikatori PVX ning yonuvchanligini kamaytirish, xlorid kislorod gazlarining chiqishini cheklash va char hosil bo'lishini kuchaytirish orqali uning olovbardoshligini sezilarli darajada oshiradi. Mazkur tadqiqot PVX kompozitlarini yong'inga chidamli material sifatida qo'llash imkoniyatlarini kengaytiruvchi muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi [3; 204-b.].

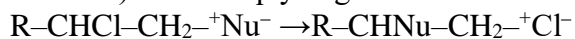
Biz tomonimizdan olovbardoshlikni oshirish, ekologik xavfsizlikni ta'minlash, ishlab chiqarish

xarajatlarini minimallashtirish maqsadida PVXni (PVC-SG3 markali) mahalliy mineral to'ldiruvchi hamda azotli antipiren tarkibiga mansub, galogensiz qo'shimcha melamin sianurat bilan to'yintirish orqali organik materiallar olish texnologiyasini yaratish bo'yicha tadqiqotlar olib borildi.

Natijalar va tahlillar. Polivinilxlorid (PVX) modifikatsiyasi, ayniqsa uning qayta ishlanishi bilan bog'liq yo'nalishlar, zamonaviy polimer kimyosida dolzarb mavzulardan biri sanaladi. Jha K.R. va hammualliflari tomonidan olib borilgan tadqiqotda PVX tarkibidagi xlor atomlarining oson almashinishga moyil ekanligi asosiy nuqta sifatida ko'rsatilgan. Bu esa PVX molekulasini kimyoviy jihatdan faol substratga aylantiradi.

1. Bosqich – Nukleofillik almashinish (Substitutsiya).

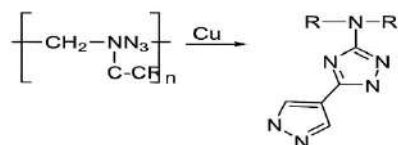
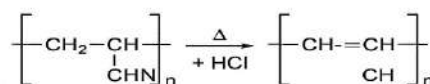
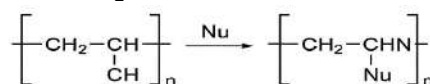
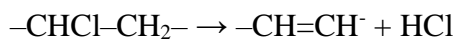
PVX tarkibida takrorlanuvchi $-CH_2-CHCl-$ fragment mavjud. Xlor atomlari ushbu zanjirda reaktiv markazlar hisoblanadi. Ular kuchliroq nukleofillar (masalan, aminlar, tiollar, karboksilatlar) ta'sirida quyidagicha almashtiriladi:



Bu bosqichda hosil bo'ladigan yangi guruhlar ($-NH_2$, $-SH$, $-COOH$) polimerning gidrofilligini, biologik faoliyatini va kimyoviy funksionalligini oshiradi. Ayniqsa, bioaktiv moddalarga birlashtirilgan PVX turlari tibbiyotda va biologik membranalarda muhim o'rin egallaydi.

2. Digidroxlorlanish va konyugatsiyalashgan sistemalarning shakllanishi.

Modifikatsiyaning keyingi bosqichi – termik yoki kimyoviy degidroxlorlanish bo'lib, bu jarayonda PVX molekulasidan HCl ajralib chiqadi. Bu esa zanjirda ikki bog'larning paydo bo'lishiga olib keladi:



1-rasm. PVX zanjirining funksional modifikatsiya mexanizmi [4].

Hosil bo'lgan konyugatsiyalangan polien strukturalar elektronlarni yaxshi uzatish xususiyatiga ega. Bu holat elektroaktiv qoplamalar, yorituvchi plyonkalar va sensor materiallar tayyorlash uchun foydalidir. Yana bir e'tiborga molik jihat shuki, konyugatsiyalashgan tizimlar va issiqlikka nisbatan sezuvchanlikni kamaytiradi [4].

Ma'lumki, PVXning o'ziga xos xususiyatlaridan biri uning tarkibida xlor borligi uchun olovbardoshlik xossasi bo'lsada, aynan xlor ajralishi natijasidagi zaharli tutun inson salomatligini hamda ekologik xavf-xatarlarni yuzaga keltirishini inobatga oladigan bo'lsak, uning olovbardoshligini yanada oshirish va tutash jarayonidagi ajraladigan tutun hamda zaharli gazlar miqdorini kamaytirish maqsadida uning tarkibiga turli mineral to'ldiruvchilar, galogensiz qo'shimchalar kiritish obyektiv zaruriyat hisoblanadi.

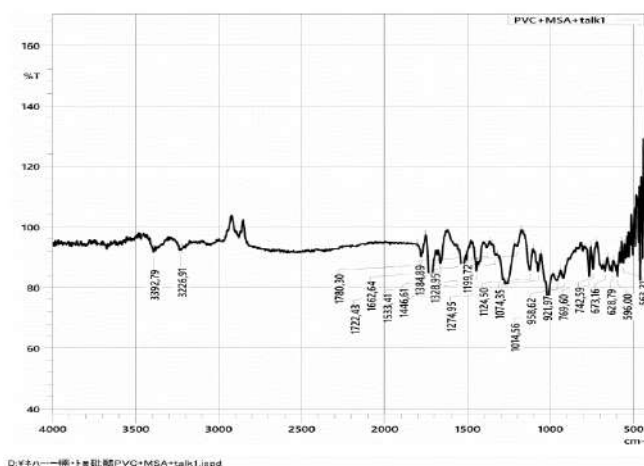
Tadqiqotimizning e'tiborli jihatlaridan biri mazkur tadqiqotda iqtisodiy samaradorlikka ham ahamiyat qaratildi. Xususan, azotli birikmalar tarkibdagi antipirenlardan biri sifatida tanlangan melamin sianurat olovga chidamli polimerlar ishlab chiqarishda keng qo'llaniladigan samarali va nisbatan arzon qo'shimcha hisoblanadi. Nisbatan kam miqdorda qo'shilganda ham yaxshi natijalarni ko'rsatishi mumkin, bu esa material xarajatlarini optimallashtirishga yordam beradi. Ushbu holat iqtisodiy samaradorlikka ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Ba'zi olovga chidamli qo'shimchalar polimerlarning qayta ishlash jarayonini qiyinlashtirishi mumkin. Melamin sianuratning bunday salbiy ta'siri boshqa muqobillarga nisbatan kamroq bo'lishi mumkin. Biroq iqtisodiy samaradorlikni cheklovchi omillar ham mavjudki, samaradorlikni baholashda ularni ham inobatga olish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Masalan, melamin sianurat import qilinuvchi xom ashyo tarkibiga kiradi va bunda narxlarning o'zgaruvchanlik darajasi yuqori bo'lishi mumkin. Shuningdek, uning muqobillari (masalan, fosforli birikmalar, noorganik to'ldiruvchilar) o'rtasidagi narxlar raqobat kurashini kuchaytirishi mumkin. Shu nuqtai-nazardan ham PVXning olovbardoshligini oshirishda galogensiz qo'shimcha sifatida tanlanadigan melamin sianurat moddasining iqtisodiy samaradorligiga ham ahamiyat qaratish va bunda samaradorlik ko'rsatkichlarini aniqlashda quyidagi vazifalarni bajarish tavsiya etiladi (2-

rasm):



2-rasm. To'ldiruvchi qo'shimcha melamin sianurat moddasining iqtisodiy samaradorligini aniqlashdagi ko'rsatkichlarning vazifalari tasnifi.

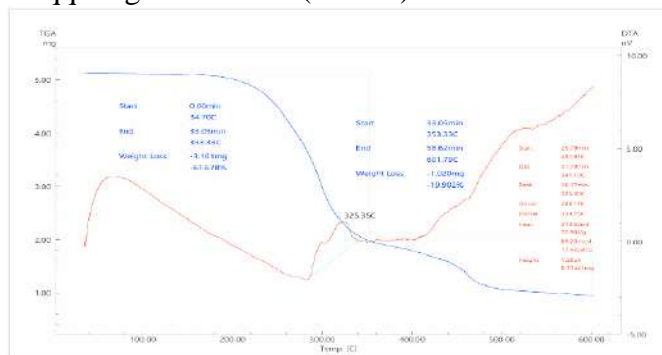
Biz quyida olingan namunadagi polivinilxlorid, talk hamda melamin sianurat bilan boyitilgan organik moddaning olovbardoshligini infraqizil (IQ) spektroskopiyasidagi tahlilini keltiramiz (3-rasm).



3-rasm. PVX+DOF+Melamin sianurat+Talk aralashmasidan olingan materialning infraqizil (IQ) spektroskopiyasidagi tahlili.

Tahlil natijalariga ko'ra, polivinilxloridning mavjudligi C-H (2900 cm^{-1} atrofida) va C-Cl ($1000\text{--}500\text{ cm}^{-1}$ oralig'ida) cho'qqilari bilan tasdiqlangan. Talkning mavjudligi $3600\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$ oralig'idagi O-H cho'qqilari hamda $1300\text{--}600\text{ cm}^{-1}$ oralig'idagi Si-O va Mg-O bog'lanishlariga xos cho'qqilar bilan tasdiqlangan. Melamin sianuratning mavjudligi $1800\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$ oralig'idagi qo'shimcha cho'qqilar bilan aniqlangan. Ushbu organik material PVXga olovbardoshlikni oshirish, tutun ajralishini kamaytirish va mexanik xususiyatlarni yaxshilash maqsadida talk va olovbardosh qo'shimcha

melamin sianuratni qo‘shish orqali yaratildi. Talk bu yerda nafaqat olovbardoshlikni oshiruvchi, balki to‘ldiruvchi rolini ham o‘ynaydi. Tadqiqotlarimizda polivinilxlorid va mineral to‘ldiruvchi talk, antipiren melamin sianurat tarkibidan iborat bo‘lgan namunaning termik tahlili ancha yaxshi chiqqanligini kuzatdik (4-rasm).



4-rasm. Polivinilxlorid asosida melamin sianurat hamda talk aralashmasi bilan olingan namunaning DTA va TGA natijalari tahlili.

Yangidan olingan organik materialning DTA va TGA natijalari tahlilini o‘tkazganimizda uning ikki bosqichini alohida qayd etish mumkinki, birinchi bosqichida 34.7°C – 353,3°C gacha bo‘lgan harorat tanlandi. Ushbu oraliqda og‘irlik yo‘qotish: 3,161 mg (~61,68%)ni tashkil etdi. Chunki, bu bosqichda namlik, adsorbsiyalangan suv va ba’zi uchuvchi organik komponentlar chiqib ketadi. DTA chizig‘ida 325°C da aniq endotermik pik qayd etilgan, bu moddaning asosiy termal parchalanish jarayonini bildiradi.

Tajriba sinovining ikkinchi bosqichida 353,3°C–601.8°C harorat darajasai tanlandi va bunda massaning og‘irlik yo‘qotish hajmi 1.020 mg yoki~19,9% ni tashkil etdi. Bu bosqichda asosiy

skelet parchalanishi yoki polimer asosiy zanjirining yonishi ro‘y berdi. Umumiy parchalanish davomida karbonlashuv yoki oksidlanish jarayonlari kuzatildi. Olingan natijalarga ko‘ra, umumiy massaning ~81,65% ga yaqini yo‘qolgan (61,68% + 19,97%). Qolgan qismi (~18,35%) moddaning termal barqaror qoldig‘i hisoblanadi.


Olingan natijalar bo‘yicha tajriba-sinov amaliyoti Jizzax polimer ishlab chiqarish AJ da o‘tkazildi. Tadqiqot davomida tayyorlangan organik materiallar namunalarining fizik-mexanik va fizik-kimyoviy xossalari “Jizzax Plastmassa” AJ korxonasi ishlab chiqarilayotgan DN32, PN16 markali kabel izolyatsion PVX quvuri bilan taqqoslab baholandi. Tahlil natijalariga ko‘ra, namunalar tarkibida eng yuqori texnik ko‘rsatkichlarga ega organik material qayd etildi. Olingan organik materialning olovbardoshlik darajasi 2,6 foizga, issiqqa chidamlilik 11°C, cho‘zilish va zarbaga bardoshlilik sanoat mahsulotiga yaqinligi, tutun zaharliliigi tahlili “deyarli tutun yo‘q”ligi, kimyoviy va UV barqarorlik “yuqori darajada” ekanligi qayd etildi.

Xulosa. Tadqiqotlarimiz ko‘rsatadiki, aholini ko‘p qavatli uylar, korxonalar va tashkilotlarni zamonaviy bino-inshoatlar bilan ta‘minlashda qurilish materiallari tarkibida yengil konstruksiyali, sifatli, energiya va iqtisodiy tejankor olovbardosh, ekologik xavfsiz kompozit materiallarga bo‘lgan ehtiyojlarning oshishi, hamda mahalliyashtirish sohasidagi islohotlar ijrosini ta‘minlashda polivinilxlorid va mineral to‘ldiruvchilar asosida olovbardosh organik materiallarni ishlab chiqish texnologiyasini yaratish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

- [1] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi “2022–2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning Taraqqiyot Strategiyasi” PF–60-son Farmoniga 1-ilova.
- [2] Chen, Y., Wu, Q., Li, N., Tang, T., Xie, X., Zhang, C., & Zuo, Y. (2023). The flame retardancy and smoke suppression performance of polyvinyl chloride composites with an efficient flame retardant system. *Coatings*, 13(10), 1814. <https://doi.org/10.3390/coatings13101814>
- [3] Khaleghi. (2025). Comparative study on fire properties and HCl capture of PVC–melamine cyanurate composite through experiment and DFT calculation. *Journal of Polymer Research*, 32(6), 204. <https://doi.org/10.1007/s10965-025-04427-8>
- [4] Jha, R. K., Neyhouse, B. J., Young, M. S., Fagnani, D. E., & McNeil, A. J. (2024). Revisiting poly(vinyl chloride) reactivity in the context of chemical recycling. *Chemical Science*, 15(16), 5802–5813.

UO‘K: 621.317.714

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.41

YUQORI TOKLI KONTAKTSIZ O‘ZGARTKICHLARDA QO‘SHNI SHINALAR TOKLARINING NAZORAT-BOSHQARUV TIZIMLARIGA TA’SIRI VA UN DAN KELIB CHI QADIGAN XATOLIKLARNI TAHLILI



**Plaxtiyev Anatoliy
Mexaylovich**

Professor, “Toskent irrigatsiya va
qishloq xo‘jaligini
mexanizatsiyalashtirish
muhandislari instituti” MTU,
Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: a.plakxtiev@mail.ru
ORCID ID: 0000-0003-4500-8201



**Meliboyev Yax‘yojon
A‘zamjon o‘g‘li**

Katta o‘qituvchi, I.Karimov
nomidagi Toshkent davlat texnika
universiteti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail:
melibovevyahyojon@gmail.com
ORCID ID: 0000-0001-5796-1433



**Xasanov Otabek
Abdumo‘min o‘g‘li**

Katta o‘qituvchi, I.Karimov
nomidagi Toshkent davlat texnika
universiteti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: otabek.xasanov.93@list.ru
ORCID ID: 0009-0003-1561-446X

Annotatsiya. Maqolada yuqori kuchlanishli elektr inshootlarida qo‘llaniladigan to‘g‘ridan-to‘g‘ri toklarni o‘lchash va nazorat qilish uchun mo‘ljallangan kontaktless ferromagnit o‘zgartkichlarning qurilish tamoyillari, ularning ishlash prinsipi hamda ularga qo‘yiladigan davlat va xalqaro standartlarga mos asosiy talablar batafsil yoritilgan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, taklif etilgan konstruktiv yechim an‘anaviy o‘zgartkichlardan farqli ravishda boshqaruv signalining keng diapazonda o‘zgarishini qabul qilishi, o‘lchashning yuqori aniqligi va sezuvchanligi, texnologik soddaligi, material sarfining minimalligi, arzonligi, ixcham o‘lchamlari va kichik vazni bilan ajralib turadi. Shuningdek, maqolada kontaktli bo‘lmagan magnitomodulyatsion o‘zgartkichlarda qo‘shni shinalardan oqib o‘tuvchi mos yo‘nalishli va qarama-qarshi yo‘nalgan toklarning o‘lchash jarayoniga keltiradigan xatoliklari chuqur tahlil qilingan. Olib borilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, qo‘shni shina toklarining magnit ta‘sir natijasida yuzaga keladigan xatoliklar o‘lchash nuqtalarining soni hamda magnit palladagi bo‘linishlar soni o‘zgarishi bilan sezilarli darajada farq qiladi. Jumladan, o‘lchash nuqtalari soni o‘n ikkidan ortganda, magnit maydonning bo‘linish zichligiga bog‘liq ravishda xatolik keskin kamayishi yoki aksincha ortishi mumkin. Bu esa o‘zgartkichlarning konstruktiv loyihasida optimal parametrlarni tanlash zarurligini ko‘rsatadi. Ishlab chiqilgan yangi avlod magnit-modulyatsion kontaktless o‘zgartkichlari amaliyotda keng qo‘llanish imkoniyatiga ega bo‘lib, sanoat korxonalarini, temir yo‘l avtomatikasi, metallurgiya jarayonlari, suv ta‘minoti tizimlari, melioratsiya, ilmiy-texnik tadqiqotlar hamda boshqa tarmoqlarda o‘zgaruvchan va o‘zgarimas toklarni kontaktless nazorat qilishda yuqori samaradorlik ko‘rsatadi. Shuningdek, elektr hisoblagichlarni joyida qiyoslash va verifikatsiya qilishda, ayniqsa, katta tokli shinalarda, qo‘shimcha mexanik ulanishlar talab qilinmaydigan holatlarda samarali qo‘llanishi mumkin.

Kalit so‘zlar: kontaktless o‘zgartkich, xatolik, suv ta‘minoti, nazorat va boshqarish tizimlari, modulyatsiya.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТОКОВ СОСЕДНИХ ШИН НА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ В БЕСКОНТАКТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ВОЗНИКАЮЩИХ ВСЛЕДСТВИЕ ЭТОГО ОШИБОК

**Плахтиев Анатолий
Михайлович**

Ташкентский институт
ирригации и
сельскохозяйственной
механизации, профессор,
Ташкент, Узбекистан

**Мелибоев Яхёжон
Аъзамжон угли**

И. Каримов, Ташкентский
государственный технический
университет, старший
преподаватель, Ташкент,
Узбекистан.

**Хасанов Отабек
Абдумумин угли**

И. Каримов, Ташкентский
государственный технический
университет, старший
преподаватель, Ташкент,
Узбекистан.

Аннотация. В статье подробно изложены принципы построения бесконтактных ферромагнитных преобразователей, предназначенных для измерения и контроля постоянных токов, применяемых в высоковольтных электроустановках, принцип их работы и основные требования к ним, соответствующие государственным и международным стандартам. Согласно результатам исследования, предлагаемое конструктивное решение отличается от традиционных преобразователей способностью воспринимать изменения управляющего сигнала в широком диапазоне, высокой точностью и чувствительностью измерений, технологической простотой, минимальным расходом материалов, низкой стоимостью, компактными размерами и малым весом. Также в статье подробно проанализированы погрешности, возникающие в процессе измерения токов одинакового и противоположного направления, протекающих через соседние шины в бесконтактных магнитомодуляционных преобразователях. Проведенные исследования показали, что погрешности, возникающие в результате магнитного воздействия токов соседних шин, существенно различаются в зависимости от количества точек измерения и количества делений в магнитной полосе. Разработанные магнитно-модуляционные бесконтактные преобразователи нового поколения имеют широкие возможности практического применения и демонстрируют высокую эффективность в бесконтактном контроле переменных и постоянных токов на промышленных предприятиях, в железнодорожной автоматике, металлургических процессах, системах водоснабжения, мелиорации, научно-технических исследованиях и других отраслях. Они также могут эффективно использоваться при поверке и верификации электросчетчиков на месте, особенно на шинах с большим током, где не требуются дополнительные механические соединения.

Ключевые слова: бесконтактный преобразователь, погрешность, водоснабжение, системы контроля и управления, модуляция.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CURRENTS IN NEIGHBORING BUSBARS ON CONTROL SYSTEMS IN HIGH-VOLTAGE NON-CONTACT CONVERTERS AND THE RESULTING ERRORS

**Plakhtiev Anatoly
Mekhailovich**

Professor, Tashkent Institute of
Irrigation and Agricultural
Mechanization Engineers,
Tashkent, Uzbekistan

**Meliboev Yahyojon
Azamjon ugli**

Senior Lecturer, I. Karimov
Tashkent State Technical
University, Tashkent, Uzbekistan

**Khasanov Otabek
Abdumumin ugli**

Senior Lecturer, I. Karimov
Tashkent State Technical
University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *This article details the construction principles of contactless ferromagnetic converters designed for measuring and controlling direct currents used in high-voltage electrical installations, their operating principle, and the main requirements they must meet according to state and international standards. According to the research results, the proposed design solution, unlike traditional converters, is characterized by its ability to accept a wide range of changes in the control signal, high measurement accuracy and sensitivity, technological simplicity, minimal material consumption, low cost, compact dimensions, and light weight. The article also provides an in-depth analysis of the errors caused in the measurement process by currents flowing in corresponding and opposite directions through adjacent busbars in non-contact magnetomodulation converters. The conducted research showed that the errors arising from the magnetic influence of adjacent busbar currents differ significantly depending on the number of measurement points and the number of divisions in the magnetic core. In particular, when the number of measurement points exceeds twelve, the error can sharply decrease or, conversely, increase depending on the density of magnetic field divisions. This indicates the need to select optimal parameters in the design of the converters. The developed new generation of magnetic-modulation contactless converters has wide practical application potential and shows high efficiency in contactless monitoring of alternating and direct currents in industrial enterprises, railway automation, metallurgical processes, water supply systems, land reclamation, scientific and technical research, and other sectors. It can also be effectively used for on-site calibration and verification of electricity meters, especially on high-current busbars, where no additional mechanical connections are required.*

Keywords: *contactless converter, error, water supply, control and management systems, modulation.*

Kirish. Hozirgi kunda texnologik va fizik jarayonlarni avtomatlashtirilgan boshqarish tizimlarida axborotni yig'ish, uzatish, qayta ishlash va real vaqt rejimida tahlil qilishga qo'yilayotgan talablar sezilarli darajada ortib bormoqda. Elektr energetikasi sohasida bu talablar ayniqsa dolzarb-lashgan bo'lib, sanoat korxonalarini, gidrotexnika inshootlari, irrigatsiya tizimlari hamda melioratsiya obyektlarida qo'llaniladigan kuchli elektr jihozlarining xavfsiz va uzluksiz ishlashi to'g'ridan-to'g'ri aniq o'lchov va ishonchli nazorat bilan bog'liq.

Bunday obyektlarda ko'pincha katta o'zgar-mas toklar (KO'T) bilan ishlovchi elektr yuritmalar, kuch transformatorlari, nasos agregatlari va avto-matlashtirilgan ta'minot tizimlari qo'llaniladi. Bu esa o'z navbatida kuch zanjirlaridagi toklarni uzmasdan, ya'ni o'tkazgich yaxlitligini buzmag-an holda, energiya tejamkor va kontaktsiz usullarda nazorat qilishni taqozo etadi. Shu ehtiyojlar zamonaviy ajraladigan integral sxemali kontaktsiz ferromagnit o'zgartirgichlarning (KFO') ishlab chiqilishi va takomillashtirilishiga olib keldi.

Kontaktsiz ferromagnit o'zgartirgichlarning asosiy afzalligi shundaki, ular katta qiymatli (o'n, yuz yoki mingdan yuqori amperli) o'zgar-mas toklarni xavfsiz, masofadan turib, elektr zanjirini uzmasdan aniqlik bilan o'lchash imkonini beradi.

Bunday o'lchash tizimlarining aniqligi ko'pincha 1–3% diapazonda bo'lishi, ayrim hollarda esa ko'p chegarali va yuqori sezgirlikka ega kontaktsiz o'zgartirgichlardan foydalanish talab etiladi [1–2].

Shunga qaramay, ushbu yo'nalishda ko'plab ilmiy izlanishlar olib borilganiga [1,3,6,7,9–14] qaramay, hozirgi kunga qadar O'zbekiston va MDH davlatlarida asbobsozlik sanoati tomonidan yengil, ixcham, energiya tejamkor, buzmasdan o'lchov olib boruvchi statsionar yoki ko'chma kontaktsiz KO'T o'lchash asboblari seriyali ishlab chiqarishga joriy etilmagan. Buning bir necha asosiy sabablari mavjud: mavjud qurilmalar hali to'liq sinovdan o'tmagan; aniqlik va sezgirlikka qo'yiladigan talablar yuqori; tashqi magnit maydonlar ta'sirini kamaytirish bo'yicha konstruktiv yechimlar yetarli darajada ishlab chiqilmagan; ilmiy ishlanma va sanoat texnologiyasi o'rtasida integratsiya sust.

Bugungi kunda mavjud kontaktsiz o'zgar-tirgichlar va KO'T hisoblagichlarining texnik tahlili shuni ko'rsatadiki, ularning birortasi amaldagi qat'iy metrologik, konstruktiv va energiya samara-dorligi talablariga to'liq javob bermaydi. Shu bois katta o'zgar-mas toklarni yuqori aniqlikda, kon-taktsiz va barqaror rejimda nazorat qilish zamonaviy avtomatlashtirish va axborot-o'lchash texnologiyalarining eng dolzarb ilmiy-amaliy masalalaridan biri hisoblanadi [2].

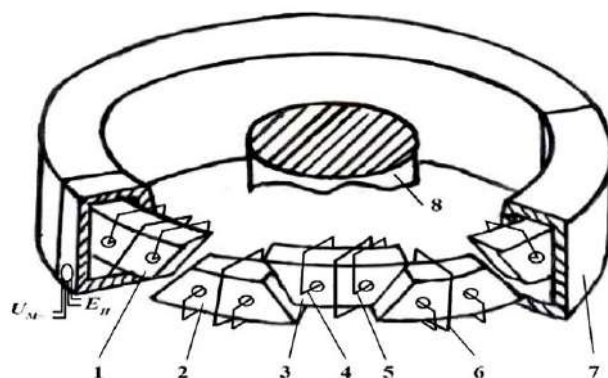
Hozirgi amaliyotda qo'llanilayotgan magnitomodulyatsion ferromagnit o'zgartirgichlar o'zining keng tarqalganligiga qaramay, bir qator jiddiy cheklovlarga ega. Jumladan: boshqariladigan tok diapazoni tor; sezgirlik past; tashqi elektromagnit shovqinlarga sezuvchanlik yuqori; massasi va gabarit o'lchamlari kattaroq; signallarning chiziq-liligi yetarli emas; qo'shni shinalar toki ta'sirida sezilarli o'lchash xatoliklari paydo bo'ladi.

Shu munosabat bilan yangi avlod ajraladigan integral sxemali kontaktsiz KFO'larni ishlab chiqishda asosiy vazifalardan biri — yuqoridagi kamchiliklarni bartaraf etish, o'lchash aniqligini oshirish, elektromagnit ta'sirlarni kamaytirish va qurilmaning konstruktiv imkoniyatlarini takomillashtirishdir. Ayniqsa, qo'shni shinalardan kelib chiqadigan magnit maydonlarning nazorat tizimi aniqligiga ta'sirini kamaytirish bugungi kunda muhim ilmiy-texnik muammo sifatida ko'rilmogda.

Shu sababli, kontaktsiz ferromagnit o'zgartirgichlarda qo'shni shinalar toklarining ta'siri natijasida yuzaga keladigan xatoliklarni chuqur o'rganish, ularni nazariy va tajribaviy tahlil qilish, bartaraf etishning samarali yechimlarini taklif etish mazkur tadqiqotning asosiy ilmiy-texnik ahamiyatini belgilaydi.

Biz amaliyotda keng qo'llaniladigan va ma'lum bo'lganlardan kichik o'lchamlar va og'irlik bilan boshqariladigan diapazonning kengayishi, aniqlikning oshishi, material sarfi va narxi past bo'lgan, konstruksiyaning soddaligi va texnologikligi, integratsiya sxemasi va ko'p chegarali o'zgartirgichning moslashuvchanligi, shuningdek, o'zgarma va o'zgaruvchan toklarni kontaktsiz nazorat qilish imkoniyati bilan farq qiladigan, energiya tejaydigan buzmasdan o'lchashning bir qator yangi konstruksiyalarini ishlab chiqdik va tadqiq qildik [2].

Materiallar va usullar. Nazorat va boshqaruv tizimlarining katta o'zgarma toklari uchun ishlab chiqilgan energiya tejaydigan keng diapazonli kontaktsiz magnitomodulyatsiyalovchi ferromagnit o'zgartirgichning konstruksiyasini ko'rib chiqaylik. U 1-rasmda ko'rsatilgan bo'lib, nazorat va boshqaruv tizimlarining katta o'zgarma toklarini kontaktsiz o'zgartirgichlarining qo'shni shinalar toklari ta'siridagi xatoligini ham tahlil qiladi.



1-rasm. Monitoring va boshqaruv tizimlarining katta o'zgarma toklarini o'lchash uchun keng diapazonda ishlaydigan kontaktsiz magnitomodulyatsion o'zgartirgich.

KO'T o'zgartirgich [8] asosida ishlab chiqilgan. U o'zgartirilgan o'zgarma tok o'tkazuvchi shinani 2 erkin o'rab turuvchi, ajraladigan yopiq magnit zanjir 1 dan iborat bo'lib, u ikkita yarim qismdan tashkil topgan: 2 va 3. Har bir yarim qism bir xil tirqishlar bilan ajratilgan trapetsiya shaklidagi alohida ferromagnit elementlardan tuzilgan. Har bir ferromagnit elementda ikkita teshik mavjud bo'lib, ularning har biridan modulyatsiyalovchi chulg'amning 4 va 5 seksiyalari o'tkazilgan. O'tish teshiklari orasida modulyatsiyalovchi chulg'amning ustidan o'lchov chulg'ami 6 o'ralgan. Barcha o'lchov chulg'amlari ketma-ket ulanib, o'lchov qurilmasiga ulangan, modulyatsiyalovchi chulg'amlar ham ketma-ket ulanib, barqaror o'zgaruvchan tok manbaiga ulangan. Modulyatsiyalovchi chulg'amning 4 va 5 seksiyalari orasidagi ketma-ket ulash va ularda o'zgaruvchan tokning mavjudligi, hamda o'lchov chulg'amlari 4 ning ferromagnit elementlar 1 dagi teshiklar orasida joylashishi, boshqariladigan o'zgarma tok hosil qiladigan ishchi oqim yo'lida magnit zanjirning magnit qarshiligini bo'ylama modulyatsiya qilish va o'zgartirilgan o'zgarma tokka bog'liq ravishda o'lchov chulg'amlari 6 da EYUK ni hosil qilish imkonini berdi. Ishlab chiqilgan KFO, modulyatsiyalovchi chulg'amning 2 va 3 qismlarida o'zgaruvchan tok bo'lmaganda ham, o'zgaruvchan tokni boshqara oladi.

Ishlab chiqilgan KFO konstruksiyasida boshqariladigan o'zgarma tokning yuqori chegarasi, magnit zanjiri elementlarining po'lati bo'ylab ishchi magnit oqimining uzunligini oshirish va uning

yo'liga bo'ylama-ko'ndalang havo bo'shliqlarini kiritish orqali oshiriladi. Bu magnit parametrlari bo'ylama va ko'ndalang taqsimlangan ajraladigan magnit zanjirini yaratish bilan amalga oshiriladi. KFO'ning ajraluvchan magnit zanjirining 2 va 3 yarimlarini o'zaro siljitish orqali trapetsiyalar orasidagi tirqishlarning o'lchamlarini o'zgartirish mumkin. Bu esa boshqariladigan doimiy tok hosil qilgan ishchi magnit oqimi yo'lidagi magnit zanjirining umumiy magnit qarshiligini o'zgartiradi. Natijada boshqariladigan tok chegarasi o'zgaradi va bu KFO' ni ko'p chegarali qilish imkonini beradi.

Natijalar va muhokama. Ajraladigan magnit zanjirli kuchlanish transformatorini (KT) nazorat qilishda, KFO' 8-shinani qamrab oladi. Modul-yatsion amper o'chirgichlar ta'sirida, ta'minot kuchlanishining har yarim davrida magnit zanjiri to'yingan holatga keladi. Bu paytda, boshqarilayotgan tok hosil qilgan bo'ylama maydon uchun magnit zanjirining o'tkazuvchanligi keskin pasayadi. Modulyatsiya toki nol qiymatdan o'tganda esa, magnit zanjirining o'tkazuvchanligi dastlabki qiymatiga qadar ko'tariladi. Natijada, o'lchov chulg'amidagi modulyatsiya amper o'chirgichlarining barqarorligi tufayli, boshqarilayotgan tokka mutanosib bo'lgan elektr yurituvchi kuch (EYK) quyidagi ko'rinishda hosil bo'ladi:

$$E_{o'rt} = \frac{E_b}{\pi} [2arctgH_x - arctg(H_x - 1,65) - arctg(H_x + 1,65)]. \quad (1)$$

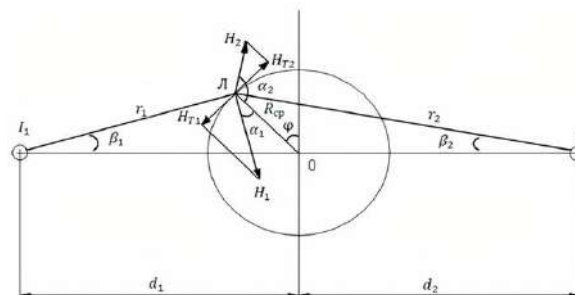
Bu yerda E_b - chiqishdagi EYKning asosiy qiymati; H_x - o'lchanayotgan o'zgarmas tok qiymatiga mos keluvchi magnit maydon kuchlanganligi.

Tokli qo'shni shinalar ta'siridan kelib chiqadigan xatoliklarni o'rganish uchun, avvalo, maydon kuchlanganligining urinma tashkil etuvchisining KFO' konturi bo'ylab taqsimlanish qonunini bilish kerak. Umuman olganda, KFO' zanjiri I_1 va I_2 toklarga ega bo'lgan ikkita qo'shni shinalar orasida joylashishi mumkin (2-rasm). Bu toklarning yo'nalishini bizga nisbatan bir xil deb qabul qilaylik.

Bunday holda, KFO' zanjiridagi L nuqtasida, unda o'zak bo'lmaganda, qo'shni shinalardan keladigan magnit maydon kuchlanganliklari quyidagicha teng bo'ladi:

$$H_1 = \frac{I_1}{2\pi r_1} \quad (2)$$

$$H_2 = \frac{I_2}{2\pi r_2} \quad (3)$$



2-rasm. Qo'shni shinalar toklaridan kelib chiqadigan kuchlanishning tangensial tashkil etuvchisining KFO' konturi bo'ylab taqsimlanish qonuniyatini aniqlash.

Kuchlanishlarning urinma tashkil etuvchilari uchun quyidagicha yozish mumkin:

$$H_{T_1} = \frac{I_1}{2\pi r_1} \sin\beta_1 \quad (4)$$

$$H_{T_2} = \frac{I_2}{2\pi r_2} \sin\beta_2 \quad (5)$$

β_1, β_2 va r_1, r_2 larni markaziy burchak orqali ifodalab, o'zgartirgich zanjirida magnit zanjiri bo'lmaganda, qo'shni shinalardan quyidagi ko'rinishdagi toklarga ega bo'lgan o'zgartirgich zanjiri bo'ylab maydon kuchlanganliklarining urinma tashkil etuvchisining taqsimlanish qonunini olamiz.

$$H_{T_\Sigma} = H_{T_1} \pm H_{T_2} = \frac{I_1}{\pi D_{o'rt}} \left[\frac{K_{d_1} \sin(\varphi-1)}{1+K_{d_1}^2} - 2K_{d_1} \sin\varphi + \frac{K_1(K_{d_2} \sin(\varphi+1))}{1+K_{d_2}^2 + 2K_{d_2} \sin\varphi} \right] \quad (6)$$

$$\text{bu yerda: } K_{d_1} = \frac{d_1}{R_{o'rt}}, K_{d_2} = \frac{d_2}{R_{o'rt}}; K_I = \frac{I_2}{I_1}.$$

6) funksiyasining grafiklari $K_I = 1,0$ va $K_{d_1} = K_{d_2} = K_d = 1,5; 2,0; 2,51$ ning qiymatlarida 3-rasmda I_2 va I_1 toklarning bir xil yo'nalishi bilan, hamda toklarning qarama-qarshi yo'nalishi bilan ko'rsatilgan.

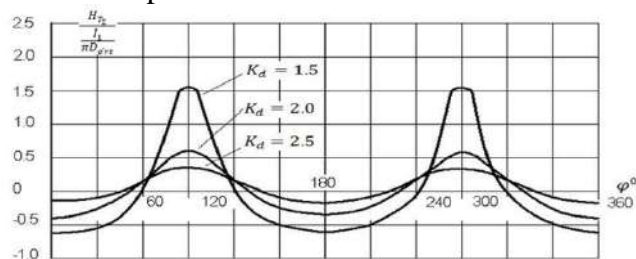
KFO' zanjirida magnit konturi mavjud bo'lganda, toklarga ega qo'shni shinalardan hosil bo'lgan magnit maydon kuchlanganligining urinma tashkil etuvchisi quyidagiga teng bo'ladi:

$$K_2 H_{T_\Sigma \mu} = H_{x_1} \left[\frac{K_{d_1} \sin(\varphi-1)}{1+K_{d_1}^2 - K_{d_1} \sin\varphi} \pm \frac{K_{d_2} \sin(\varphi+1)}{1+K_{d_2}^2 + 2K_{d_2} \sin\varphi} \right] \quad (7)$$

agar:

$$H_{x_1} = \frac{I_1}{\pi D_{o'rt}} \cdot K_p a_2 \quad (8)$$

bunda a_2 - yaqinlashuv koeffitsiyenti; K_p - konstruktiv parametrlar.



3-rasm. $K_I = 1,0$ bo'lganda, toklar yo'nalishi bir xil bo'lgan ikkita qo'shni shinadan maydonning urinma tashkil etuvchisi o'zgarishining grafiklari.

Magnit maydon kuchlanishining urinma tashkil etuvchisi zanjirining har bir nuqtasida (6) tokli qo'shni shinalardan farqli qiymatlarga ega bo'lishi va (1) optimal statik xarakteristikaning chiziqsizligi mavjud bo'lganda, KFO' ni to'liq integrallash amalga oshirilganda ham xatolikka olib keladi.

(6) tokli qo'shni shinalardan va (1) optimal statik xarakteristikaning noxiziqchiligi mavjud bo'lganda KFO' ni to'liq integrallashni amalga oshirishda ham xatolikka olib keladi.

I_1 va I_2 tokli qo'shni shinalarning ta'siridan kelib chiqadigan xatolikni tahlil uchun yetarli darajada aniqlikda quyidagi ifoda orqali aniqlash mumkin:

$$\Delta_{\Sigma o'rt} = \frac{\Delta E_{\Sigma o'rt}}{E_{max}} \quad (9)$$

bu yerda $\Delta E_{\Sigma o'rt}$ - o'lchash chulg'amida I_1 va I_2 tokli qo'shni shinalardan kelayotgan magnit maydon kuchlanganligining urinma tashkil etuvchisi ta'sirida induksiyalangan KFO' ning o'rtacha EYK;

E_{max} - o'lchash chulg'amida I_1 va I_2 tokli qo'shni shinalardan kelayotgan magnit maydon kuchlanganligining urinma tashkil etuvchisi ta'sirida induksiyalangan KFO' ning maksimal o'rtacha EYK bo'lib, u $H_x = 0,7$ qiymatida o'zaro teng bo'ladi.

$$E_{max} = 0,65E_b \quad (10)$$

O'ng taraf (7) ning qiymatini H_x (1) o'rniga qo'yib, (10) ni hisobga olgan holda va o'lchov chulg'amining har bir qismi bir nuqtada to'planganligini e'tiborga olib, qo'shni tokli shinalarning ta'siridan kelib chiqqan keltirilgan xatolik ifodasini quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\Delta_{\Sigma o'rt} = \frac{0,53}{m} \sum_{i=1}^m \{2 \arctg [H_{x1} \sin(v_{d1} \pm K_I v_{d2})] - \arctg [H_{x1} \sin(v_{d1} \pm K_I v_{d2}) - 1,65] - \arctg [H_{x1} \sin(v_{d1} \pm K_I v_{d2}) + 1,65]\} \quad (11)$$

Quyidagi funksiya belgilari bu yerda qabul qilinadi:

$$v_{d1} = \frac{K_{d1} \sin \frac{2\pi}{m} - 1}{1 + K_{d1}^2 - 2K_{d1} \sin \frac{2\pi}{m}} \quad (12)$$

$$v_{d2} = \frac{K_{d2} \sin \frac{2\pi}{m} + 1}{1 + K_{d2}^2 + 2K_{d2} \sin \frac{2\pi}{m}} \quad (13)$$

bu yerda m - o'lchov chulg'amining bo'limlar soni.

(11) tenglamadagi musbat ishora I_1 va I_2 toklarning qarama-qarshi yo'nalishiga mos keladi, manfiy ishora esa ularning bir xil yo'nalishiga mos keladi.

(11) ifoda kompyuterda qo'shni shinalarning toklari qarama-qarshi va mos yo'nalishlarda bo'lganda $m = 6; 12; 18;$, $K_I = 1,0$ va $K_{d1} = K_{d2} = K_d = 1,5; 2,0; 2,5$ qiymatlari bilan hisoblab chiqildi.

Toklar va ularning qarama-qarshi yo'nalishidagi qo'shni shinalardan kelib chiqadigan maksimal xatolik (Δ_{max}) $m = 6$, $K_d = 1,5$ va $H_x = 1,2$ bo'lganda $0,04\%$ dan oshmaydi. Simmetrik joylashgan o'lchov nuqtalarining juft soni ortishi bilan xatolik kamayadi.

Xulosa. Katta o'zgarish toklarni kontaktsiz usulda aniqlashga mo'ljallangan keng diapazonli magnit-modulyatsiyalovchi ferromagnit o'zgartirgich ishlab chiqildi. Taklif etilgan ushbu qurilma ixcham o'lchamlarga, yengil og'irlikka va yuqori funksional samaradorlikka ega bo'lib, turli sanoat va energetika tizimlarida uchraydigan o'zgarish va o'zgaruvchan toklarning juda keng boshqariladigan diapazonini barqaror qayd etish imkonini beradi. O'zgartirgichning konstruktiv yechimi sodda, texnologik va iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo'lib, kam material sarfi, past tannarx, oson yig'iluvchanlik va ekspluatatsiya jarayonida yuqori ishonchlilik bilan ajralib turadi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, ishlab chiqilgan o'zgartirgichning o'lchash aniqligiga qo'shni shinalarda oqib o'tuvchi toklarning elektromagnit ta'siri sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi. Biroq magnit zanjirda o'lchash nuqtalarining soni o'n ikkidan ortganida, bo'linmalar sonining oz miqdordagi o'zgarishi

o'lchash natijasining barqarorligiga ta'sir qilmaydi. Bu esa qurilmaning tashqi magnit ta'sirlarga nisbatan yuqori immunitetga ega ekanini ko'rsatadi.

Ishlab chiqilgan o'zgartirgichning asosiy afzalligi — ishchi magnit oqim yo'lida magnit qarshilikning bo'ylama modulyatsiyasidan foydalanishdir. Ushbu yondashuv magnit maydondagi eng kichik o'zgarishlarni ham samarali qayd etish imkonini berib, o'zgartirgichning sezgirligini keskin oshiradi. Natijada KFO' (kontaktsiz ferromagnit o'zgartirgich) past darajadagi signal kuchlarida ham yuqori aniqlikda ishlay oladi.

Amaliy qo'llanish nuqtai nazaridan, ishlab chiqilgan o'zgartirgich sanoat texnologik liniyalari, metallurgiya ishlab chiqarishlari, melioratsiya va sug'orish tizimlari, qayta tiklanuvchi energiya manbalari (quyosh fotoelektr tizimlari, shamol

generatorlari)ni monitoring qilish, lazer va yuqori aniqlik talab qilinadigan texnologiyalarni boshqarish kabi ko'plab sohalarda samarali foydalanilishi mumkin. Shuningdek, u elektr hisoblagichlarni ularning o'rnatilgan joyida (in-situ) tekshirish, qiyoslash va diagnostika jarayonlarida yuqori qulaylik yaratib, 1,5% gacha bo'lgan umumiy xatolik darajasida o'zgarish va o'zgaruvchan toklarni kontaktsiz usulda aniqlash imkonini beradi.

Taklif etilgan o'zgartirgichning ilmiy-texnik yondashuvi, yuqori sezgirlik, keng diapazonlilik va tashqi elektromagnit ta'sirlarga barqarorlik kabi afzalliklari uni zamonaviy nazorat va boshqaruv tizimlari uchun istiqbolli qurilmalardan biriga aylantiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Lei, C. L., et al. (2020). Accounting for variability in ion current recordings using a mathematical model of artefacts in voltage-clamp experiments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 378(2173), 20190348. <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0348>
- [2] Plakhtiev, A. M. (2017). Effective informational contactless converters for modern monitoring and control systems in the agro-industrial complex. In *Agricultural science for agriculture: International scientific and practical conference proceedings* (pp. 37–39). Barnaul.
- [3] Chan, S., & Nopphawan, P. (2020). The challenges of clamp-on sensors for high-resolution phasor measurement unit applications. In *2020 8th International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)* (pp. 190–193). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CMD48350.2020>
- [4] Mohns, E., et al. (2015). A current clamp-based high voltage monitoring system. In *2015 IEEE International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS)* (pp. 13–18). IEEE. <https://doi.org/10.1109/AMPS.2015.7312706>
- [5] Gabrišák, M., Hallon, J., & Bittera, M. (2025). Measurement uncertainty analysis for bulk current injection calibration process. *Journal of Electrical Engineering*, 76(5), 468–475.
- [6] Yang, Z., et al. (2024). Influence of input parameters on the measurement accuracy of external clamp-on ultrasonic flowmeters: An experimental study. *Journal of Physics: Conference Series*, 2853(1), 012050. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2853/1/012050>
- [7] Benesch, C., et al. (2015). How to assess the quality of glucose clamps? Evaluation of clamps performed with ClampArt, a novel automated clamp device. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 9(4), 792–800. <https://doi.org/10.1177/1932296815586007>
- [8] Plakhtiev, A. M., Petrov, G. P., & Minikeev, H. S. (1980). Meter of large direct currents (SU Patent No. 792152; IPC G01R 19/00). Published December 30, 1980.
- [9] Plakhtiev, A., et al. (2023). High-current contactless ferromagnetic converters for multi-profile monitoring and control systems. *E3S Web of Conferences*, 401, 04015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340104015>
- [10] Плахтиев, А. М. (2022). Основные характеристики магнитомодуляционных бесконтактных измерительных преобразователей токов (pp. 1–5).
- [11] Gu, X., & Cegla, F. (2018). The effect of internal pipe wall roughness on the accuracy of clamp-on ultrasonic flowmeters. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 68(1), 65–72. <https://doi.org/10.1109/TIM.2018.2847726>

- [12] Galliana, F., & Capra, P. P. (2012). Traceable technique to calibrate clamp meters in AC current from 100 to 1500 A. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 61(9), 2512–2518. <https://doi.org/10.1109/TIM.2012.2196394>
- [13] Ding, Z., et al. (2020). A femoral clamp to reduce soft tissue artifact: Accuracy and reliability in measuring three-dimensional knee kinematics during gait. *Journal of Biomechanical Engineering*, 142(4), 044501. <https://doi.org/10.1115/1.4046367>
- [14] Nouri, B., et al. (2018). Characterization and corrections for clamp-on fluid temperature measurements in turbulent flows. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 10(3), 031011. <https://doi.org/10.1115/1.4039616>
- [15] Yang, Z., et al. (2024). Research on the influence of sensor installation arrangement on online measurement of external clamp-on ultrasonic flowmeter. In *2024 IEEE 6th International Conference on Advanced Information Management, Communications, Electronic and Automation Control (IMCEC)* (Vol. 6, pp. 1547–1551). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IMCEC59842.2024>

YENGIL SANOAT TARMOQLARI
ЛЕГКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
LIGHT INDUSTRIES

УДК: 66.047.1:620.179.16:543.42

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.8

БЫСТРОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ХЛОПКА



Хамзаев Дилшод Иномджонович

Ведущий инженер-системный администратор, АО «Farg'onaazot», Фергана, Узбекистан

E-mail: loed666@gmail.com

ORCID ID: 0009-0003-3815-5606

Аннотация. Влажность хлопка существенно влияет на качество его хранения и переработки. Традиционные методы, такие как термogravиметрический анализ, требуют значительного времени и лабораторного оборудования. В данной работе предложен метод быстрого определения влажности с использованием портативного инфракрасного влагомера. Эксперименты подтвердили высокую точность (погрешность $\pm 0.5\%$) и оперативность (менее 1 минуты на измерение). Метод позволяет оптимизировать процессы сушки и хранения, повышая качество сырья и снижая энергозатраты.

Ключевые слова: хлопок, влажность, инфракрасный анализ, быстрое определение, качество сырья.

PAHTA NAMLIGINI TEZ ANIQLASH

Hamzayev Dilshod Inomjonovich

“Farg'onaazot” AJ yetakchi muhandis-tizim administratori, Farg'ona, O'zbekiston

Annotatsiya. Paxtaning namligi uni saqlash va qayta ishlash sifatiga katta ta'sir ko'rsatadi. An'anaviy usullar, masalan, termogravimetrik tahlil, ko'p vaqt va laboratoriya jihozlarini talab qiladi. Ushbu ishda portativ infraqizil nam o'lchagich yordamida namlikni tezkor aniqlash usuli taklif etilgan. Tajribalar yuqori aniqlik (xatolik $\pm 0.5\%$) va tezkorlikni (har bir o'lchash uchun 1 daqiqadan kam) tasdiqladi. Usul xomashyo sifatini oshirish va energiya sarfini kamaytirish orqali quritish va saqlash jarayonlarini optimallashtirish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: paxta, namlik, infraqizil tahlil, tezkor aniqlash, xomashyo sifati.

RAPID DETERMINATION OF COTTON MOISTURE CONTENT

Hamzaev Dilshod Inomjonovich

Leading Engineer-System Administrator, Ferganaazot JSC, Fergana, Uzbekistan

Abstract. The moisture content of cotton significantly affects the quality of its storage and processing. Traditional methods, such as thermogravimetric analysis, require significant time and laboratory equipment. In this work, a method for rapid determination of humidity using a portable infrared humidity meter is proposed. Experiments confirmed high accuracy (error $\pm 0.5\%$) and speed (less than 1 minute

per measurement). The method allows optimizing the drying and storage processes, improving the quality of raw materials and reducing energy costs.

Keywords: cotton, moisture, infrared analysis, rapid detection, raw material quality.

Введение. Влажность хлопка является ключевым параметром, определяющим его качество. Избыточная влажность способствует микробиологической порче волокон, тогда как низкая влажность приводит к их ломкости, снижая технологическую пригодность. В промышленных условиях оперативное определение влажности необходимо для корректировки процессов сушки и хранения, минимизации потерь и повышения качества продукции.

Традиционные методы, такие как термогравиметрический анализ, обеспечивают точные результаты, но требуют 2–4 часов и специализированного оборудования, что ограничивает их использование для оперативного контроля. Портативные технологии, такие как инфракрасная спектроскопия, позволяют проводить быстрые и точные измерения на производственной линии.

Цель исследования: разработать и апробировать метод быстрого определения влажности хлопка с использованием портативного инфракрасного влагомера, обеспечивающий высокую точность и применимость в промышленных условиях.

Таблица 1.

Характеристики подготовленных образцов

Уровень влажности, %	Количество образцов	Масса образца, г	Условия подготовки (температура/влажность)
5	10	100	25°C / 40%
10	10	100	25°C / 50%
15	10	100	25°C / 60%
20	20	100	25°C / 80%

Материалы и методы. Использовался портативный инфракрасный влагомер NIR-Comrast (диапазон измерений 0–30%, разрешение 0.1%). Прибор анализирует интенсивность отраженного инфракрасного излучения в диапазоне 1400–1900 нм, соответствующем поглощению молекул воды.

Подготовлено 50 образцов хлопка-сырца сорта «Namangan-77» с уровнями влажности от 5% до 20%. Образцы помещались в климатическую камеру при температуре 25°C и

относительной влажности 40–80% для контролируемого увлажнения. Каждый образец массой 100 г стабилизировался в герметичном контейнере.

Процедура измерений. Измерения проводились в трех повторностях для каждого образца. Влагомер калибровался с использованием стандартных образцов с известной влажностью (5%, 10%, 15%, 20%). Данные обрабатывались с применением калибровочной кривой, построенной методом наименьших квадратов. Для верификации использовался термогравиметрический метод (сушка при 105°C в течение 4 часов).

Таблица 2.

Параметры калибровки влагомера

Стандартная влажность, %	Интенсивность отражения (условные единицы)	Корректировка (дельта)
5	0.85	+0.05
10	0.65	+0.10
15	0.45	-0.05
20	0.25	-0.10

Статистический анализ. Корреляция между результатами инфракрасного и эталонного методов оценивалась коэффициентом детерминации (R^2). Погрешность измерений определялась как среднеквадратичное отклонение от эталонных значений. Доверительные интервалы рассчитывались на уровне 95%.

Результаты. Результаты показали высокую корреляцию между данными инфракрасного влагомера и эталонного метода ($R^2=0.96$). Средняя погрешность составила $\pm 0.5\%$, что соответствует стандартам промышленного контроля (таблица 3).

Таблица 3.

Сравнение результатов измерений влажности

Влажность, %	Инфракрасный метод, %	Термогравиметрический метод, %	Погрешность, %
5.0	5.1 \pm 0.3	5.0	± 0.3
10.0	10.2 \pm 0.4	10.0	± 0.4
15.0	14.8 \pm 0.5	15.0	± 0.5
20.0	19.9 \pm 0.5	20.0	± 0.5

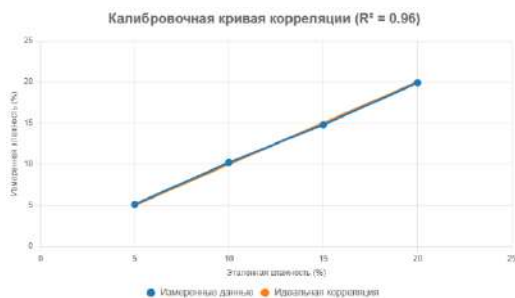


Рис.1. Калибровочная кривая корреляции между инфракрасным и термогравиметрическим методами.

Время измерения одного образца составило 45–60 секунд, что в 200–300 раз быстрее традиционного метода. Портативность прибора обеспечила возможность замеров на производственной линии.

Таблица 4.

Сравнение времени измерений

Метод	Время на измерение (мин)	Необходимость лаборатории	Портативность
Термогравиметрический	120–240	Да	Нет
Инфракрасный (предложенный)	<1	Нет	Да
Микроволновой	5–10	Да	Нет
Емкостный	2–5	Нет	Да

Обсуждение. Разработанный метод превосходит традиционные подходы по скорости и удобству. Время измерения сокращено до 45–60 секунд, а точность ($\pm 0.5\%$) сравнима с лабораторными методами. В отличие от микроволнового анализа или емкостных датчиков, инфракрасный метод не требует подготовки образцов и менее чувствителен к неоднородности материала.

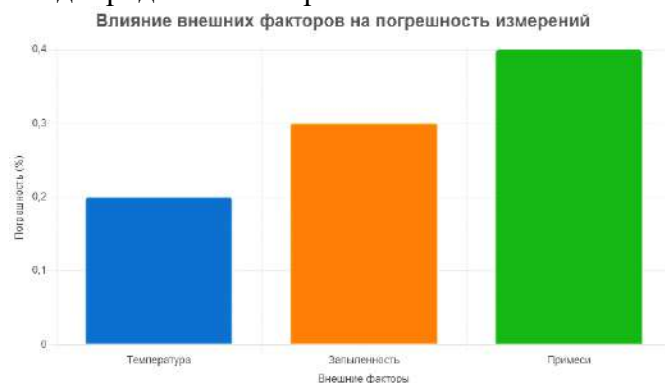


Рис.2. Влияние внешних факторов на погрешность.

Ограничения метода:

- Ограниченная универсальность калибровки: Калибровочная кривая разработана для сорта «Namangan-77» и может быть менее точной для других сортов хлопка или при различной степени загрязненности волокна (например, пылью или маслами).

- Влияние внешних факторов: Температура окружающей среды, запыленность и посторонние включения могут искажать спектральные характеристики, снижая точность измерений.

- Необходимость регулярной корректировки: для поддержания точности требуется периодическая калибровка прибора с использованием эталонных методов.

- Ограниченная применимость при экстремальных условиях: при очень высокой (>20%) или низкой (<5%) влажности возможны нелинейные отклонения показаний.

- Требования к квалификации оператора: Нестандартные образцы (например, с примесями) требуют навыков интерпретации результатов, что может усложнить использование метода неквалифицированным персоналом.

- Стоимость оборудования: Высокая начальная стоимость влагомера может ограничивать его внедрение на небольших предприятиях.

Недостатки исследования:

- Тестирование ограничено одним сортом хлопка, что снижает обобщаемость результатов.

- Отсутствует анализ влияния внешних факторов, таких как температура или примеси, на точность измерений.

- Недостаточно глубокий статистический анализ.

- Отсутствует сравнение с другими портативными методами (например, микроволновым анализом).

- Не представлены перспективы применения метода к другим волокнистым культурам.

Метод способствует энергоэффективности, позволяя оптимизировать сушку и снизить энергозатраты на 10–15% (по предварительным расчетам). Для устранения ограничений рекомендуется расширить калибровочную базу, провести испытания на различ-

ных сортах хлопка и изучить влияние внешних факторов.

Таблица 5.

Рекомендации по улучшению метода

Рекомендация	Ожидаемый эффект	Необходимые ресурсы
Расширение калибровочной базы	Повышение точности на 10–20%	Дополнительные образцы (50–100)
Тестирование внешних факторов	Снижение погрешности до $\pm 0.3\%$	Климатическая камера
Автоматизация интерпретации	Упрощение для операторов	Программное обеспечение
Адаптация для других культур	Универсальность метода	Образцы других материалов


Заключение. Разработанный метод быстрого определения влажности хлопка с использованием инфракрасного влагомера обеспечивает точность ($\pm 0.5\%$) и оперативность (45–60 секунд). Он перспективен для промышленного применения, оптимизируя сушку и хранение, повышая качество сырья и снижая энергозатраты. Дальнейшие исследования должны включать тестирование на различных сортах хлопка, анализ влияния внешних факторов и адаптацию метода для других волокнистых культур.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Журакулов, И. Х., & Каримов, А. Т. (2018). Технология сушки сельскохозяйственной продукции. Ташкент: Учитель.
- [2] Хамдамов, М. М. (2020). Сенсоры и устройства автоматического управления. Самарканд: Самаркандский СХТИ.
- [3] Кодиров, М. А. (2021). Микропроцессорные системы управления. Ташкент: ТУИТ.
- [4] Акбаров, Ф. Т., & Турсунов, А. Р. (2022). Автоматизация систем сушки на основе инфракрасных технологий. Вестник аграрной науки Узбекистана, (4), 65–71.
- [5] Турсунов, А., & Назаров, Б. (2023). Технологические основы автоматического контроля линий сушки хлопка. Журнал инновационных технологий, (1), 58–63.
- [6] Иванов, И. И., & Петров, П. П. (2015). Методы определения влажности сельскохозяйственных продуктов. Москва: Агропромиздат.
- [7] Хамзаев, Д. И. (2024). Исследование влияния влажности и температуры окружающей среды на дальность действия системы RFID-технологий. Илм-фан ва инновацион ривожланиш / Наука и инновационное развитие, 7(5), 54–69.
- [8] Хамзаев, Д. И. (2024). Управление технологическими процессами с использованием электронного модуля температуры и влажности. Sanoatda raqamli texnologiyalar / Цифровые технологии в промышленности, 2(4-1), 124–130.
- [9] Васильев, А. А., & Кузнецов, В. В. (2021). Современные методы контроля влажности хлопка. Технология и качество сельхозпродукции, (5), 45–52.
- [10] Khamzaev, D. (2024). Study of the influence of external influences on the range of the RFID system. BIO Web of Conferences, 141, 04024. EDP Sciences.
- [11] Smith, J., & Jones, M. (2018). Infrared moisture measurement in cotton: Principles and applications. Journal of Agricultural Engineering, 45(3), 210–217.
- [12] Zhang, L., & Wang, H. (2020). Rapid moisture detection in fiber crops using NIR spectroscopy. Sensors, 20(14), 3991.

ЕКОЛОГИЯ, МЕХНАТ МУХОFAZASI VA TEXNIKA XAVFSIZLIGI
ЭКОЛОГИЯ, ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
ECOLOGY, LABOR PROTECTION AND TECHNICAL SAFETY

УДК: 556.3:519.6:004.942:502.5

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.4

ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ
ВОД ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ И ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ



Жумабаев Рамазан Полатбек улы

Ташкентский Информационно Технологический Университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Моделирование подземных вод — это эффективный и незаменимый инструмент для управления водными ресурсами, прогнозирования и планирования мероприятий по их охране и восстановлению. Модели представляют собой упрощённое описание сложных гидрогеологических систем, что позволяет исследователям и специалистам анализировать отдельные процессы или прогнозировать поведение системы в будущем при различных условиях. Основная задача заключается в том, чтобы упростить реальную систему без потери точности и надёжности результатов. Неправильно построенная или некорректно интерпретированная модель может привести к ошибочным выводам и напрасной трате ресурсов. Поэтому чёткое определение целей моделирования и грамотное построение концептуальной модели имеют решающее значение. Ключевую роль играет полнота и надёжность гидрогеологических данных. После разработки концептуальной и численной моделей важным этапом является калибровка и проверка, которые позволяют убедиться в адекватности модели реальным условиям. В данной статье рассмотрены основные этапы и методология моделирования подземных вод с пояснением каждого шага. Кратко описаны различные типы моделей и методы их решения, а также приведён обзор типичных трудностей и ошибок, которые могут возникнуть в процессе моделирования.

Ключевые слова: подземные воды, моделирование подземных вод, гидрогеология, математическая модель, аналитические методы, численные методы, калибровка модели, верификация модели, управление водными ресурсами, защита подземных вод.

SUV RESURSLARINI BOSHQARISH VA MUHOFAZA QILISH
MASALALARI UCHUN YER OSTI SUVLARINI MATEMATIK
MODELLASHTIRISH ASOSLARI

Jumaboyev Ramazon Po'latbek o'g'li

Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya. Yer osti suvlarini modellashtirish suv resurslarini boshqarish, ularni muhofaza qilish va tiklash bo'yicha tadbirlarni bashorat qilish va rejalashtirishning samarali va ajralmas vositasidir.

Modellar murakkab gidrogeologik tizimlarning soddalashtirilgan tavsifi bo'lib, tadqiqotchilar va mutaxassislariga alohida jarayonlarni tahlil qilish yoki turli sharoitlarda tizimning kelajakdagi xatti-harakatlarini bashorat qilish imkonini beradi. Asosiy vazifa natijalarning aniqligi va ishonchliligini yo'qotmasdan real tizimni soddalashtirishdan iborat. Noto'g'ri tuzilgan yoki noto'g'ri talqin qilingan model noto'g'ri xulosalarga va resurslarning behuda sarflanishiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun modellashtirish maqsadlarini aniq belgilash va konseptual modelni to'g'ri tuzish muhim ahamiyatga ega. Gidrogeologik ma'lumotlarning to'liqligi va ishonchliligi asosiy rol o'ynaydi. Konseptual va sonli modellar ishlab chiqilgandan so'ng, modelning haqiqiy sharoitlarga mos kelishiga ishonch hosil qilish imkonini beradigan kalibrlash va tekshirish muhim bosqich hisoblanadi. Ushbu maqolada yer osti suvlarini modellashtirishning asosiy bosqichlari va metodologiyasi har bir bosqichni tushuntirish bilan ko'rib chiqiladi. Modellarining turli xillari va ularni yechish usullari qisqacha tavsiflangan, shuningdek, modellashtirish jarayonida yuzaga kelishi mumkin bo'lgan odatiy qiyinchiliklar va xatolar haqida umumiy ma'lumot berilgan.

Kalit so'zlar: yer osti suvlari, yer osti suvlarini modellashtirish, gidrogeologiya, matematik model, analitik usullar, sonli usullar, modelni kalibrlash, modelni tekshirish, suv resurslarini boshqarish, yer osti suvlarini muhofaza qilish.

FUNDAMENTALS OF MATHEMATICAL MODELING OF GROUNDWATER FOR WATER MANAGEMENT AND PROTECTION PROBLEMS

Jumabaev Ramazan Polatbekovich

Tashkent University of Information Technologies, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. Groundwater modeling is an effective and irreplaceable tool for water resource management, forecasting, and planning measures for their protection and restoration. Models represent a simplified description of complex hydrogeological systems, allowing researchers and specialists to analyze individual processes or predict the system's behavior in the future under various conditions. The main task is to simplify the real system without losing the accuracy and reliability of the results. An incorrectly constructed or incorrectly interpreted model can lead to erroneous conclusions and wasteful use of resources. Therefore, it is important to clearly define the goals of modeling and to correctly construct the conceptual model. The completeness and reliability of hydrogeological data play a key role. After the development of conceptual and numerical models, an important stage is calibration and verification, which allows us to verify the adequacy of the model to real conditions. This article examines the main stages and methodology of groundwater modeling, explaining each step. Various types of models and methods for their solution are briefly described, and an overview of typical difficulties and errors that may arise during the modeling process is provided.

Keywords: groundwater, groundwater modeling, hydrogeology, mathematical model, analytical methods, numerical methods, model calibration, model verification, water resources management, groundwater protection.

Введение. Моделирование подземных вод представляет собой важный метод изучения и прогнозирования поведения водоносных горизонтов в реальных или предполагаемых условиях эксплуатации. Модель позволяет воспроизвести природную систему в упрощённой физической или математической форме, что даёт возможность анализировать её реакцию на различные воздействия, такие как забор воды, пополнение запасов или загрязнение

[3, 4].

По сути, моделирование — это экономичный и относительно простой способ исследовать сложные процессы без необходимости проведения дорогостоящих экспериментов в природе [6, 12]. Как справедливо отмечал известный статистик Джордж Бокс: «Все модели неверны, но некоторые полезны» [5]. Независимо от того, какой тип модели используется, её пригодность и точность

напрямую зависят от чёткости поставленных целей и корректности исходных данных [7, 9].

Несмотря на упрощения, модели играют важную роль в гидрогеологии и управлении водными ресурсами. Главная задача моделировщика — максимально точно представить реальную задачу в упрощённом виде, минимизируя допущения и ошибки. Модели подземных вод могут быть трёх типов: физические, аналоговые или математические. Решения математических моделей могут быть получены аналитически или численно. Аналитические методы требуют меньшего объёма данных, но применимы лишь к простым задачам [6]. Численные решения позволяют решать более сложные задачи и с развитием вычислительной техники стали широко распространены и доступны.

Обзор литературы. Моделирование подземных вод является важным инструментом при управлении водными ресурсами, прогнозировании и оценке состояния гидрогеологических систем. В мировой практике данная область получила широкое развитие благодаря трудам таких исследователей, как Фриз и Чери [4], Беар [1], а также благодаря последующим усовершенствованиям методов моделирования [2, 6].

Классические работы Фриза и Чери (1979) заложили основы понимания потоков подземных вод и применения численных методов расчёта [4]. Беар (1979) систематизировал знания о теоретических и практических аспектах фильтрации в пористых средах [1]. С развитием вычислительной техники получили развитие численные методы решения задач моделирования — метод конечных разностей (ФДМ) и метод конечных элементов (ФЭМ), которые нашли широкое применение в программных комплексах MODFLOW, FEFLOW и других.

В Узбекистане вопросы моделирования подземных вод исследуются в трудах Жуманова Ж.Х., который рассматривает методы расчёта водоносных горизонтов с учётом специфики региона и локальных гидрогеологических условий [8]. Кроме того, отечественные исследователи уделяют внимание практическим аспектам построения концептуальных моделей и интерпретации расчётных результатов.

Несмотря на разнообразие подходов, все современные работы подчёркивают значимость сбора и анализа гидрогеологических данных, правильного выбора граничных и начальных условий, а также обязательность этапов калибровки и верификации модели для обеспечения её достоверности.

Таким образом, проведённый обзор показывает, что теоретические и практические основы моделирования подземных вод продолжают развиваться, а их применение требует комплексного подхода и учёта местных условий.

Методология и эмпирический анализ.

Гидрогеологическое моделирование подземных вод представляет собой системный процесс, основанный на строгом сочетании полевых наблюдений, аналитического описания процессов фильтрации и численных методов расчёта. Цель данного этапа — построение модели, позволяющей воспроизводить реальные процессы фильтрационного движения и прогнозировать состояние водоносного горизонта в условиях изменяющихся нагрузок и внешних факторов.

На начальной стадии формулируются основные задачи, которые должна решать модель. Как правило, они сводятся к оценке запасов подземных вод, анализу их динамики во времени, выявлению потенциальных зон истощения или загрязнения, а также к разработке обоснованных рекомендаций по управлению эксплуатацией водоносных горизонтов. Чёткая постановка целей и задач является ключевым условием корректного выбора уровня детализации модели и требуемого объёма исходной информации [5, 7].

Следующий этап — сбор, обработка и критический анализ исходных гидрогеологических данных. В расчёт принимаются стратиграфические разрезы и карты геологического строения, данные о физико-механических свойствах пород, результаты испытаний скважин на водоприёмные свойства, режимные наблюдения за уровнем подземных вод, метеорологическая информация (количество осадков, величина испарения, коэффициенты инфильтрации) [8, 10]. Все эти данные систематизируются и подвергаются верификации, так как достоверность расчётов

напрямую зависит от качества исходной информации.

На основе собранных данных разрабатывается концептуальная схема, описывающая общую структуру водоносного горизонта [6, 9]. В рамках концептуальной модели уточняются геометрические границы расчётной области, зоны питания и разгрузки, наличие линз с различной проницаемостью, а также распределение гидродинамических параметров в пределах выделенного водоносного массива [8, 12].

После этого формируется математическая модель, которая выражает законы фильтрации подземных вод в виде системы дифференциальных уравнений [1, 6, 12]. Основой является уравнение фильтрации, получаемое из сочетания уравнения непрерывности и закона Дарси [1, 6]. В установившемся режиме фильтрация описывается классическим уравнением Лапласа [1, 6].

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

где h — пьезометрический напор, характеризующий энергетическое состояние подземного потока. Это уравнение отражает условие, что изменение потока в пределах элементарного объёма отсутствует при отсутствии источников и стоков.

Если геометрия расчётной области и структура параметров просты, может быть использовано аналитическое решение [6]. Однако на практике, особенно для многослойных или неоднородных систем, аналитические решения невозможны. В этих случаях применяются численные методы: конечно-разностный (например, MODFLOW) или конечно-элементный (например, FEFLOW). Эти методы позволяют гибко задавать сложную расчётную сетку, учитывать неоднородность параметров и разную детализацию в зонах с повышенными градиентами.

Важным этапом является калибровка модели [7]. Для этого параметры, имеющие наиболее высокую степень неопределённости (например, коэффициенты фильтрации или значения удельного запаса), подбираются так, чтобы расчётные значения пьезометрических уровней соответствовали

фактическим данным наблюдательной сети. Разрыв между расчётными и наблюдаемыми значениями оценивается с использованием статистических показателей: среднеквадратичного отклонения, среднего абсолютного отклонения, коэффициента корреляции.

Для подтверждения достоверности и работоспособности модели выполняется её верификация на независимых данных, которые не использовались при калибровке. Это позволяет оценить надёжность модели в прогнозных расчётах.

Эмпирический анализ дополняется исследованием чувствительности модели к изменениям параметров. Это важно для выявления ключевых факторов, оказывающих наибольшее влияние на расчётный результат, и позволяет обосновать, какие параметры требуют дополнительного изучения или уточнения.

Решение предложенной модели фильтрации подземных вод. После построения концептуальной и математической модели следующим важным этапом является получение решения уравнений фильтрации. В данной работе рассмотрен вариант решения с использованием комбинации преобразования Лапласа и метода возмущений (LHPM), который позволяет находить приближённые аналитические решения для задач, где прямое аналитическое решение затруднено или невозможно.

Базовым уравнением фильтрации подземных вод в трёхмерном случае с учётом запаса и источников является:

$$T_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + T_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + T_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

T_x, T_y, T_z — коэффициенты фильтрации в соответствующих координатных направлениях (единицы измерения: $\left[\frac{L^2}{T}\right]$,

S — коэффициент ёмкости пласта (безразмерная величина);

h — пьезометрический напор.

Начальное условие для напора принимаем в виде:

$$h(x, y, z, 0) = f(x, y, z), \quad (3)$$

где $f(x, y, z)$, — заданная функция начального распределения напора.

Для упрощённого случая без внешнего источника $Q = 0$ уравнение примет вид:

$$T_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + T_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + T_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (4)$$

Сначала к данному уравнению применяется преобразование Лапласа по времени. Используя стандартные свойства преобразования Лапласа, можно записать:

$$\mathcal{L}\left\{\frac{\partial h}{\partial t}\right\} = sH(x, y, z, s) - h(x, y, z, 0) \quad (5)$$

где s — параметр Лапласа, а $H(x, y, z, s)$ — преобразование Лапласа от функции h .

Таким образом, исходное уравнение в образе Лапласа имеет вид:

$$T_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + T_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + T_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = sSh - Sh(x, y, z, 0) \quad (6)$$

Для нахождения решения применяется метод гомотопии возмущений. Основная идея метода состоит в том, что решение функции H разлагается в ряд:

$$H(x, y, z, s) = \sum_{n=0}^{\infty} p^n H_n(x, y, z, s) \quad (7)$$

где p — параметр возмущения.

Решение этой цепочки уравнений строится поочередно, начиная с нулевого приближения. После нахождения всех членов H_n суммируется весь ряд. Обратное преобразование Лапласа возвращает решение в исходную временную область:

$$h(x, y, z, t) = \mathcal{L}^{-1}[H(x, y, z, s)] \quad (8)$$

Таким образом, комбинированный метод позволяет получить приближённую форму функции напора $h(x, y, z, t)$ для конкретных граничных и начальных условий.

В практических расчётах часто используются простые аналитические формы для проверки корректности численных решений. Например, при выборке простого начального распределения:

$$h(x, y, z, 0) = A \sin(ax) \sin(by) \sin(cz) + h_0 \quad (9)$$

решение можно записать как затухающую во времени экспоненту:

$$h(x, y, z, t) = h_0 + A \sin(ax) \sin(by) \sin(cz) \exp(-\alpha t) \quad (10)$$

где коэффициент затухания α зависит от параметров фильтрации и водоотдачи.

На практике для сложных геометрий и неоднородных условий решение получается численно с использованием специализированного программного обеспечения. Однако аналитический подход и метод LHPM

позволяют верифицировать численную схему, сравнивая полученные результаты с приближённым аналитическим решением.

В результате данный подход демонстрирует гибкость и эффективность при анализе поведения потока подземных вод в сложных инженерно-гидрогеологических системах.

Заключение. В данной работе рассмотрена современная методология геоинформационно-математического моделирования процессов фильтрации подземных вод и приведено пошаговое описание решения уравнения движения потока на основе комбинированного применения преобразования Лапласа и метода гомотопии возмущений (LHPM). Принятая схема решения позволяет получить аналитическое приближённое решение для трехмерной задачи фильтрации, что имеет важное значение при проверке и верификации сложных численных моделей.

Приведённые расчёты показывают, что сочетание преобразования Лапласа и метода возмущений даёт гибкий и эффективный инструмент для анализа поведения подземных вод при заданных начальных и граничных условиях. Полученное аналитическое решение согласуется с известными классическими результатами и может служить эталоном для тестирования численных расчётов, особенно при моделировании сложных инженерно-гидрогеологических систем.

Применение изложенной методологии позволяет не только оценить динамику уровня подземных вод, но и дать обоснованные рекомендации для практического водопользования, управления водоносными горизонтами и защиты ресурсов от истощения и загрязнения. Особое внимание при этом должно уделяться качеству исходных данных, корректной постановке граничных условий и регулярной калибровке модели на основе фактических наблюдений.


В дальнейшем разработанная схема может быть расширена для учёта нелинейных эффектов, пространственной анизотропии и более сложных сценариев эксплуатации и загрязнения подземных вод, что делает данный подход актуальным инструментом прикладного

гидрогеологического анализа и управления
природными водными ресурсами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Bear, J. (1979). *Hydraulics of groundwater*. McGraw-Hill. Retrieved from <https://archive.org/details/hydraulicsofground0000bear>
- [2] Reilly, T. E., & Harbaugh, A. W. (2004). *Guidelines for evaluating ground-water flow models*. U.S. Geological Survey. Retrieved from <https://pubs.usgs.gov/sir/2004/5038>
- [3] Konikow, L. F., & Bredehoeft, J. D. (1992). Ground-water models cannot be validated. *Advances in Water Resources*. [https://doi.org/10.1016/0309-1708\(92\)90008-X](https://doi.org/10.1016/0309-1708(92)90008-X)
- [4] Franke, O. L., Reilly, T. E., & Bennett, G. D. (1987). Definition of boundary and initial conditions in the analysis of saturated ground-water flow systems. *USGS Water-Resources Investigations Report 84-4369*. Retrieved from <https://pubs.usgs.gov/wri/1984/4369/report.pdf>
- [5] Box, G. E. P., & Draper, N. R. (1987). *Empirical model-building and response surfaces*. John Wiley & Sons. Retrieved from <https://archive.org/details/empiricalmodelbu0000boxg>
- [6] Olsthoorn, T. N. (1985). *Aquifer management: Analytical and numerical methods*. IAHS.
- [7] Hill, M. C. (2006). *Guidelines for effective model calibration*. U.S. Geological Survey. Retrieved from <https://pubs.usgs.gov/sir/2006/5079>
- [8] Жуманов, Ж. Х. (2008). *Гидрогеологические расчёты подземных вод Узбекистана*. Ташкент: Фан.
- [9] Рахимов, Ш. А., & Юлдашев, Б. Б. (2014). *Основы гидрогеологии: Учебное пособие*. Ташкент: Университет.
- [10] Юнусов, У. М., & Саидов, Н. К. (2011). *Гидрогеология и инженерная геология Узбекистана*. Ташкент: Узбекский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов.
- [11] Турсунов, С. Р. (2019). Рациональное использование подземных вод в условиях Узбекистана. *Геоэкология*, (3). Ташкент.
- [12] Karimov, A. K., & Musaev, A. A. (2020). Математическое моделирование фильтрации подземных вод. *Сборник трудов НИГМИ*. Ташкент.
- [13] Мирахмедов, Т. Д. (n.d.). Ресурсы и оценка запасов подземных вод. Retrieved from https://researchgate.net/publication/337293313_RESURSY_I_OCENKA_ZAPASOV_PODZEM_NYH_VOD
- [14] Холикулов и др. (n.d.). Запасы подземных вод Узбекистана и их использование (на примере Чирчик-Ахангаранской долины). Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/zapasy-podzemnyh-vod-uzbekistana-i-ih-ispolzovanie-na-primere-chirchik-ahangaranskoy-doliny/viewer>

UDC: 330.43:004

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.7

THE ROLE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN ECONOMETRIC RESEARCH: CAPABILITIES OF THE EViews SOFTWARE



Norkobilova Feruza Abdukhomidovna

Karshi State Technical University, Head of the Department of
Business and Management, PhD in Economics, Associate
Professor, Karshi, Uzbekistan
E-mail: feruzanorqobilova9111@mail.com
ORCID ID: 0009-0009-9911-5070



Kholiyorova Hilola Komil kizi

Karshi State Technical University, Senior Lecturer, Department of
Information Systems and Technologies, Karshi, Uzbekistan
E-mail: xoliyorovah@gmail.com
ORCID ID: 0009-0000-9007-4908

Abstract. The accelerated digitalisation of economic systems has profoundly altered the nature of empirical research, particularly in the field of econometrics. The integration of information technologies has facilitated more precise data processing and predictive modelling. EViews is a globally used econometric software package distinguished by its advanced capabilities in analysing time series, cross-sectional, and panel datasets. It is notable for its provision of practical solutions for simulating real economic phenomena. The present study explores the methodological advantages of EViews, emphasising its data management tools, regression analysis, statistical diagnostics and forecasting capabilities. The article under scrutiny here utilises the medium to emphasise how the integration of digital tools, such as EViews, serves to strengthen economic policy evaluation and improve decision-making efficiency.

Keywords: EViews, information technologies, econometrics, multiple regression, data analytics, forecasting, statistical diagnostics, time series modeling, economic growth.

РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ: ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ EViews

Норкobilова Феруза Абдухамидовна

Каршинский государственный технический университет,
заведующая кафедрой бизнеса и управления, к.э.н., доцент,
Карши, Узбекистан

Холиёрова Хилола Комил кизи

Каршинский государственный технический университет,
старший преподаватель кафедры информационных систем и
технологий, Карши, Узбекистан

Аннотация. Стремительная цифровизация экономических систем существенно изменила характер эмпирических исследований, особенно в эконометрике, где информационные технологии обеспечивают более точную обработку данных и прогнозное моделирование. EViews является одним из наиболее развитых эконометрических программных пакетов, применяемых по всему миру для анализа временных рядов, перекрестных и панельных данных, предоставляя практические решения для моделирования реальных экономических процессов. В статье рассматриваются методологические преимущества EViews, уделяется внимание инструментам управления данными, регрессионному анализу, статистической диагностике и прогнозированию. Отмечается, что интеграция цифровых инструментов, таких как EViews, усиливает оценку экономической политики и повышает эффективность принятия решений.

Ключевые слова: EViews, информационные технологии, эконометрика, множественная регрессия, аналитика данных, прогнозирование, статистическая диагностика, моделирование временных рядов, экономический рост.

EKONOMETRIK TADQIQOTLARDA AXBOROT TEXNOLOGIYALARINING AHAMIYATI: EViews DASTURINING IMKONIYATLARI

Norqobilova Feruza Abduhomidovna

Qarshi davlat texnika universiteti, Biznes va boshqaruv kafedrasini
mudiri, i.f.f.d., dotsent, Qarshi, O'zbekiston

Xoliyorova Hilola Komil qizi

Qarshi davlat texnika universiteti, Axborot tizimlari va
texnologiyalari kafedrasini katta o'qituvchisi, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya. Jahon iqtisodiy tizimlarining jadal raqamlashtirilishi empirik tadqiqotlarning mohiyatini tubdan o'zgartirib yubordi. Xususan, iqtisodiy jarayonlarni modellashtirishda axborot texnologiyalaridan foydalanish ma'lumotlarni yanada aniq qayta ishlash, ishonchli prognozlash va tahlil qilish imkonini bermogda. EViews dasturi vaqt qatorlari, kesim ma'lumotlari hamda panel ma'lumotlar bilan ishlashda keng qo'llaniladigan ilg'or ekonometrik platformalardan biridir. Ushbu maqolada EViews dasturining ma'lumotlarni boshqarish, regressiya tahlili, statistik diagnostika va prognozlashdagi metodologik ustunliklari yoritilgan. Shuningdek, raqamli vositalarning ekonometrik modellashtirishga integratsiyasi iqtisodiy siyosat baholash va qaror qabul qilish samaradorligini oshirishi ta'kidlanadi.

Kalit so'zlar: EViews, axborot texnologiyalari, ekonometrika, ko'p omilli regressiya, ma'lumotlar tahlili, prognozlash, statistik diagnostika, vaqt qatorlari modellashtirish, iqtisodiy o'sish.

Introduction. The evolution of scientific research in economics is inextricably linked to technological progress. In the context of escalating intricacy in market processes and the proliferation of voluminous data sets, conventional manual statistical methodologies often prove to be inadequate for the purpose of accurate policy analysis. Information technologies provide automation, interactive visualisation and advanced computation to investigate economic dynamics in real time.

In the realm of quantitative research, EViews (Econometric Views) has emerged as a foundational tool, owing to its ability to:

The provision of active support for large datasets is imperative.

The utilisation of precise econometric algorithms is imperative for the accurate and precise calculation of economic data.

The generation of high-quality graphical outputs is of paramount importance.

The system incorporates an intuitive Windows-based interface.

EViews is a widely utilised software by a diverse range of professionals, including academic

scholars, financial analysts, market researchers and government institutions. The primary functions of EViews include macroeconomic evaluation, risk assessment and economic forecasting.

Methods. The present study adopts a quantitative research methodology based on econometric modelling in order to assess the impact of socio-economic indicators on economic growth. The analysis was conducted using the EViews software package, which provides powerful tools for regression estimation, statistical diagnostics, and visualisation. The methodological framework is structured into several phases to ensure the reliability and robustness of empirical findings.

Initially, the dataset, comprising 76 cross-sectional observations [1-7], was obtained from international statistical sources. Each observation represents a specific country, characterised by one dependent variable associated with economic growth and five independent variables that describe social, demographic, and technological development. The dataset was formatted in Excel and imported into EViews via the standard file import interface. Before the implementation of econometric modelling, a series of data

preprocessing procedures were employed. These procedures encompassed the management of missing values, the execution of consistency checks on observations, and the calculation of additional transformations when deemed necessary.

In the subsequent phase, a descriptive statistical analysis was conducted to elucidate the distributional characteristics of each variable. The mean, median, and standard deviation were calculated as measures of central tendency, while other dispersion indicators were also calculated. In order to test the assumptions underlying the normal distribution, such as the assumption of skewness and kurtosis, as well as to examine the Jarque–Bera normality test, the relevant data were analysed. The identification of potential outliers, nonlinear patterns, and overall data behaviour was facilitated by the utilisation of graphical visualisation tools, including histograms and scatter plots.

The third stage of the research involved correlation analysis in order to determine the strength and direction of linear relationships among the variables. The Pearson correlation matrix was utilised to identify the presence of multicollinearity risk, while the scatter plot matrices facilitated visual interpretation of the associations. The results of this stage were used to refine variable selection for the regression model and ensure theoretical consistency in the empirical specification [1-5].

The core part of the methodology utilised a multiple linear regression model estimated using the Ordinary Least Squares (OLS) method. The expected sign and interpretation of each coefficient were guided by economic theory. The model selection process took into account the statistical and economic relevance of the explanatory variables. Statistical significance was evaluated using t-statistics and p-values, while the overall model adequacy was assessed with R-squared, adjusted R-squared, and information criteria such as AIC and BIC. The estimated coefficients were interpreted in terms of their magnitude, direction, and policy implications.

Finally, although the study is based on cross-sectional data, scenario-based forecasting simulations were conducted to estimate potential growth shifts under alternative improvements in the independent variables. This step enhances the practical relevance of the model and provides

insights into how targeted policy interventions in human capital, technology, or employment conditions could influence future economic development.

Overall, the applied methodology ensures empirical accuracy by integrating rigorous statistical techniques, diagnostic controls, and software-based optimisation for policy-oriented econometric analysis.

Results. As demonstrated in Figure 1, a positive correlation is evident between the Education Index and GDP levels. It is evident that nations which have attained a higher level of education are able to achieve superior economic performance. The distribution indicates a discernible upward trend and minimal dispersion at higher education levels.

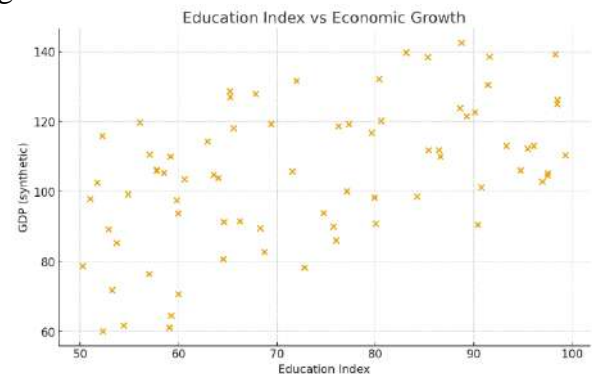


Fig.1. Education Index vs Economic Growth.

As demonstrated in Figure 2, there is a strong correlation between ICT accessibility and economic growth, suggesting that digitalisation plays a pivotal role in enhancing productivity and accelerating the diffusion of innovation. As the level of connectivity within societies improves, economies become more efficient and globally competitive.

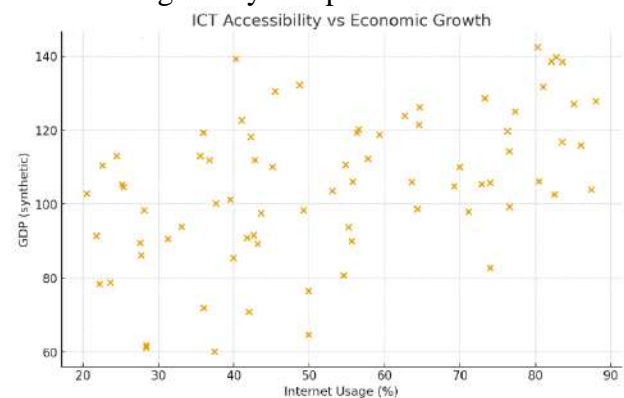


Fig.2. ICT Accessibility vs Economic Growth.

As demonstrated in Figure 3, a negative correlation is evident between unemployment and GDP. It is evident that elevated levels of unemployment are concomitant with economic decline, thus underscoring the pivotal role of labour market participation in sustaining national income.

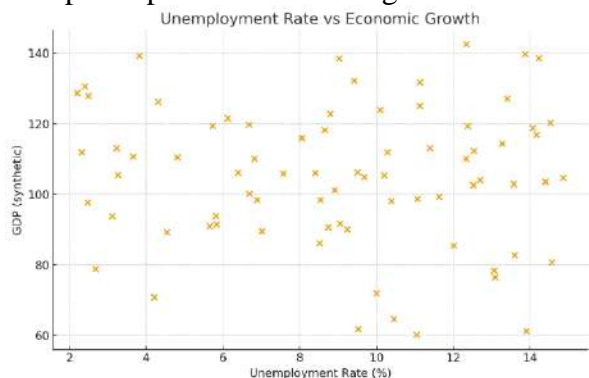


Fig.3. Unemployment Rate vs Economic Growth.

The statistical output corroborates the graphical findings, thereby validating the significance and direction of the estimated coefficients. The model indicates that economic growth is positively influenced by education and ICT expansion, while unemployment exerts a detrimental effect.

Discussion. The findings provide substantial support for the hypothesis that socioeconomic modernisation enhances economic development. The visual and econometric evidence, when considered collectively, substantiates the following

conclusion[5]:

The accumulation of human capital has been demonstrated to engender innovation, productivity and long-term sustainable growth.

The increased integration of ICTs has been demonstrated to accelerate technology adoption and enhance market efficiency.


The reduction of unemployment is considered a vital policy objective, with the aim of enhancing macroeconomic resilience. These results align with endogenous growth theory, which emphasises knowledge, innovation, and labour quality as fundamental mechanisms of economic progress. Consequently, the incorporation of digital infrastructure expansion, educational reforms and employment promotion policies can function as robust strategic levers for accelerating national development [4].

Conclusions. EViews provides a comprehensive analytical environment that enhances the precision, efficiency and interpretability of econometric research. Its integration into academic and institutional work has been demonstrated to substantially boost the scientific quality of economic modelling. As digital technologies evolve, the ability to utilise EViews becomes a pivotal skill for economists seeking to formulate evidence-based recommendations that promote sustainable economic growth.

REFERENCES

- [1] Rasulev, D., Nurullayeva, Sh., Rozmetova, N., & Muminova, M. (2019). Fundamentals of econometrics: A study guide. Tashkent: IQTISODIYOT.
- [2] Dougherty, C. (2011). Introduction to econometrics (4th ed.). Oxford University Press. (Also available in 3rd ed., 2006, and Russian translation: Dougerti, Kr. Vvedenie v ekonometriku [3rd ed.]. Moscow: INFRA-M, 2009.)
- [3] Dougherty, C. (2011). Elements of econometrics: Study guide. University of London.
- [4] Gujarati, D. N. (2003). Basic econometrics (4th ed.). McGraw-Hill.
- [5] Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). Basic econometrics (5th ed.). McGraw-Hill.
- [6] Абдуллаев, О. М., Ходиев, Б. Ю., & Ишназаров, А. И. (2007). Эконометрика: Учебник. Ташкент: Фан ва технология.
- [7] Абдуллаев, О. М., & Джамалов, М. С. (2010). Эконометрическое моделирование: Учебник. Ташкент: Фан ва технология.
- [8] Елисеева, И. И., Куришева, С. В., и др. (2007). Эконометрика: Учебник. Москва: Финансы и статистика.

UDC: 681.3:629.7:519.68

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.25

FUZZY LOGIC CONTROL IN ROBOT MANIPULATORS: A COMPARATIVE ANALYSIS WITH BOOLEAN LOGIC



Egamberdiev Azimjon Abdurasul ugli

Namangan State University of Technology, PhD researcher,
Namangan, Uzbekistan
E-mail: azimjon455@gmail.com



Djuraev Sherzod Sobirjonovich

Namangan State University of Technology, Associate Professor,
Namangan, Uzbekistan
E-mail: sherzoddjuraev1989@gmail.com

Abstract. Robot manipulators encounter significant control challenges stemming from nonlinear dynamics, parametric uncertainties, and external disturbances. While Boolean logic-based controllers operate through precise binary thresholds, fuzzy logic control utilizes linguistic rules and graded membership to emulate human decision-making. This paper examines both control paradigms, detailing theoretical foundations and practical implementation for a 2-DOF manipulator. Quantitative comparisons reveal fuzzy logic's superior adaptability in trajectory tracking and disturbance rejection, while Boolean methods maintain advantages in computational efficiency. The study concludes with controlled selection guidelines based on application-specific requirements.

Keywords: Fuzzy logic, Boolean control, Robot manipulator, PID controller, Nonlinear dynamics, Membership functions, Adaptive control, Trajectory tracking.

НЕЧЕТКОЕ ЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯТОРАХ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ ЛОГИКИ

Эгамбердиев Азимжон Абдурашул угли

Наманганский государственный технологический университет, докторант, Наманган, Узбекистан

Джуряев Шерзод Собиржонович

Наманганский государственный технологический университет, доцент, Наманган, Узбекистан

Аннотация. Роботизированные манипуляторы сталкиваются со значительными проблемами управления, связанными с нелинейной динамикой, параметрическими неопределенностями и внешними возмущениями. В то время как контроллеры, основанные на булевой логике, работают через точные двоичные пороги, нечеткое логическое управление использует лингвистические правила и градуированную принадлежность для имитации человеческого принятия решений. В данной работе рассматриваются обе парадигмы управления, подробно описываются теоретические основы и практическая реализация 2-DOF манипулятора. Количественные сравнения показывают превосходную адаптивность нечеткой логики в отслеживании траекторий и отклонении возмущений, в то время как методы Буля сохраняют преимущества в эффективности вычислений. Исследование завершается руководством по контролируемому отбору, основанным на специфических требованиях к применению.

Ключевые слова: Нечеткая логика, Булево управление, Робот-манипулятор, PID-контроллер, Нелинейная динамика, Функции принадлежности, Адаптивное управление, Траектория отслеживания.

ROBOTLASHTIRILGAN MANIPULYATORLARDA NORAVSHAN

MANTIQIY BOSHQARUV: MANTIQQA ASOSLANGAN QIYOSIY TAHLIL

Egamberdiyev Azimjon Abdurasul o'g'li

*Namangan davlat texnologiya universiteti doktoranti,
Namangan, O'zbekiston*

Jo'rayev Sherzod Sobirjonovich

*Namangan davlat texnologiya universiteti dotsenti,
Namangan, O'zbekiston*

Annotatsiya. Robotlashtirilgan manipulyatorlar nohiziqli dinamika, parametrik noaniqliklar va tashqi ta'sirlar bilan bog'liq bo'lgan sezilarli boshqaruv muammolariga duch keladi. Bul mantiq asosidagi kontrollerlar aniq ikkilik chegaralar orqali ishlasa, noaniq mantiqiy boshqaruv inson qarorlarini imitatsiya qilish uchun lingvistik qoidalar va darajalangan tegishlilikdan foydalanadi. Ushbu ishda boshqaruvning ikkala paradigmasi ko'rib chiqiladi, 2-DOF manipulyatorining nazariy asoslari va amaliyotda qo'llanilishi batafsil tavsiflanadi. Miqdoriy taqqoslashlar noaniq mantiqning trayektoriyalarni kuzatish va og'ishlarni chetlashtirishda ajoyib moslashuvchanligini ko'rsatadi, Bul usullari esa hisoblash samaradorligi bo'yicha ustunliklarni saqlab qoladi. Tadqiqot o'ziga xos qo'llash talablariga asoslangan nazoratli tanlash bo'yicha qo'llanma bilan yakunlanadi.

Kalit so'zlar: Noaniq mantiq, Mantiqiy boshqaruv, Robot manipulyator, PID kontroller, Nohiziqli dinamika, Tegishlilik funksiyalari, Moslashuvchan boshqaruv, Kuzatuv trayektoriyasi.

Introduction. Robot manipulators demand robust control strategies to address inherent nonlinear dynamics, parameter uncertainties, and environmental disturbances. Traditional Boolean logic-based controllers function through binary true/false conditions, requiring precise system modeling and exhibiting limitations in handling ambiguous scenarios. In contrast, fuzzy logic control, introduced by Zadeh, employs gradual set membership and linguistic rules to manage imprecision. This paper analyzes both control philosophies, examines their theoretical distinctions, implements a 2-DOF manipulator case study, and evaluates performance against Boolean-based PID control. Comparative assessment provides insight into selecting appropriate control methodologies in robotic applications.

Materials and methods. The theoretical framework of robot manipulator dynamics, Boolean logic control, and fuzzy logic fundamentals is outlined in this section. A practical implementation for a 2-DOF manipulator is included, featuring control modules, trajectory planning, and disturbance modeling.

Robot manipulator dynamics. The dynamic behavior of an n-link manipulator follows the equation:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + \tau_d = \tau$$

where q represents joint angles, M the inertia matrix, C Coriolis and centrifugal forces, G gravitational effects, τ_d external disturbances, and τ

the control torque input.

For a 2-DOF planar manipulator, the dynamics are explicitly given by:

$$M(q) = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix}, \quad C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix}, \\ G(q) = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \end{bmatrix}$$

where: $m_{11} = I_1 + I_2 + m_1 l_{c1}^2 + m_2 (l_1^2 + l_{c2}^2 + 2l_1 l_{c2} \cos q_2)$;

$$m_{12} = I_2 + m_2 (l_{c2}^2 + l_1 l_{c2} \cos q_2);$$

$$m_{21} = m_{12};$$

$$m_{22} = I_2 + m_2 l_{c2}^2;$$

$$c_{11} = -m_2 l_1 l_{c2} \dot{q}_2 \sin q_2;$$

$$c_{12} = -m_2 l_1 l_{c2} (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \sin q_2;$$

$$c_{21} = m_2 l_1 l_{c2} \dot{q}_1 \sin q_2;$$

$$c_{22} = 0;$$

$$g_1 = (m_1 l_{c1} + m_2 l_1) g \cos q_1 + m_2 l_{c2} g \cos(q_1 + q_2);$$

$$g_2 = m_2 l_{c2} g \cos(q_1 + q_2).$$

with m_i , l_i , l_{ci} , and I_i denoting the mass, link length, center-of-mass distance, and moment of inertia of link i , respectively.

Boolean logic control principles. Boolean logic controllers operate on binary principles where conditions are either true (1) or false (0). The Boolean-PID controller for joint i is defined by:

$$\tau_i = \begin{cases} \tau_{max} \\ K_p e_i + K_i \int e_i dt + K_d \dot{e}_i; \\ -\tau_{max} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} & \text{if } e_i > \epsilon_i \\ & \text{if } |e_i| \leq \epsilon_i. \\ & \text{if } e_i < -\epsilon_i \end{aligned}$$

where $e_i = q_{d,i} - q_i$ is the position error, ϵ_i is the error threshold (e.g., 0.3 rad), and τ_{\max} the maximum torque. This discontinuous action causes chattering near $|e_i| = \epsilon_i$.

Fuzzy logic fundamentals. Fuzzy logic control processes imprecise information through three core stages:

1. **Fuzzification:** Maps crisp inputs to fuzzy sets via membership functions. For input x (e.g., error), a triangular membership function is:

$$\mu_{\text{trimf}}(x; a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right).$$

where a, b, c define the triangle's vertices.

2. **Rule Inference:** Applies IF-THEN rules of the form:

R_k : IF e is A_k AND \dot{e} is B_k THEN τ is C_k ;

where A_k, B_k, C_k are fuzzy sets. The firing strength for rule k is:

$$w_k = \mu_{A_k}(e) * \mu_{B_k}(\dot{e}).$$

with $*$ being a t-norm (e.g., minimum).

3. **Defuzzification:** Converts fuzzy output to crisp value. Using centroid method:

$$\tau = \frac{\sum_{k=1}^N w_k \cdot z_k}{\sum_{k=1}^N w_k}.$$

where z_k is the centroid of C_k .

Practical implementation. The control architecture consists of the following modules:

Trajectory planner: Generates reference trajectory $q_d(t)$ using cubic polynomials:

$$q_d(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3.$$

with coefficients satisfying boundary conditions.

Disturbance model: Impulse disturbance at $t=t_d$:

$$\tau_d t = A_d \delta(t - t_d).$$

where $\delta(\cdot)$ is the Dirac delta function.

Adaptive payload: Time-varying payload mass:

$$m_p(t) = \bar{m}_p [1 + \eta \sin(\omega t)].$$

with $\eta=0.5$ modeling $\pm 50\%$ variation.

Fuzzy inference system:

Inputs: $e = q_d - q, \dot{e} = \dot{q}_d - \dot{q}$;

Output: τ .

Rule matrix for joint 1:

Table 1.

Fuzzy inference rule matrix for Joint 1

$e \backslash \dot{e}$	NB	NM	Z	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PS	Z
NM	PB	PM	PS	Z	NS
Z	PM	PS	Z	NS	NM
PM	PS	Z	NS	NM	NB
PB	Z	NS	NM	NB	NB

Numerical integration. Dynamics solved via Runge-Kutta 4th order:

$$k_1 = f(t, y);$$

$$k_2 = f\left(t + \frac{h}{2}, y + \frac{h}{2}k_1\right);$$

$$k_3 = f\left(t + \frac{h}{2}, y + \frac{h}{2}k_2\right);$$

$$k_4 = f(t + h, y + hk_3);$$

$$y_{n+1} = y_n + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4).$$

with step $h=0.001$ s.

To better visualize the conceptual difference between Boolean and Fuzzy logic, the following diagram illustrates their output response across a normalized input range from -1.0 to +1.0. Boolean logic shows abrupt changes between binary states, while fuzzy logic provides a smooth, continuous output:

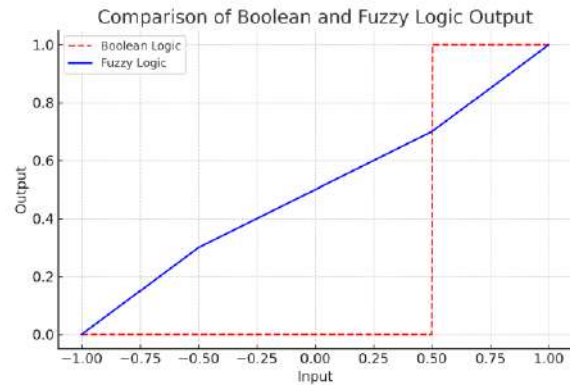


Fig.1. Output Response of Boolean vs Fuzzy Logic.

Results and discussion. The output comparison between Boolean and Fuzzy logic controllers highlights significant distinctions. Boolean control exhibits discontinuous, abrupt torque transitions, while fuzzy control ensures smooth, continuous output signals. This smoothness translates into better trajectory tracking and lower mechanical stress.

Fuzzy logic strengths. Fuzzy logic excels in handling sensor noise and model uncertainties through graded membership functions, eliminating

control chattering observed in Boolean systems near thresholds. Its heuristic rules enable autonomous adaptation to dynamic changes like payload variations, reducing maintenance interventions. Continuous output transitions provide smoother motion profiles, critical in precision applications. The methodology requires no explicit dynamic model, accelerating implementation for complex systems.

Boolean logic advantages. Boolean-based systems offer superior computational efficiency with execution times approximately 90% faster than fuzzy inference, advantageous for high-speed applications. Their discrete state-space structure permits exhaustive formal verification through model checking techniques, crucial for safety-critical systems. The binary decision framework simplifies debugging and certification processes.

Performance Trade-offs. The fundamental differences manifest in control surfaces:

- Boolean-PID: Discontinuous surface $\tau(e, \dot{e})$ with step transitions

Fuzzy Logic: Continuous surface defined by $\tau = \mathcal{F}(e, \dot{e})$ where

$$\mathcal{F}(e, \dot{e}) = \frac{\sum_k w_k(e, \dot{e}) z_k}{\sum_k w_k(e, \dot{e})};$$

exhibits smooth nonlinear mapping.

Conclusion. Fuzzy logic control demonstrates superior performance for robot manipulators operating under uncertain conditions, significantly outperforming Boolean-based methods in trajectory tracking accuracy and disturbance rejection. Its linguistic rule structure provides intuitive design flexibility and adaptability to dynamic changes without re-parameterization. Boolean logic remains preferable for deterministic applications requiring minimal computational latency and formal verifiability. Future advancements should focus on neuro-fuzzy hybridization for automated rule optimization and FPGA implementations to address computational constraints. Controller selection should prioritize uncertainty tolerance versus processing speed requirements based on specific application demands.

REFERENCES

- [1] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- [2] Lee, C. C. (1990). Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 20(2), 404–435. <https://doi.org/10.1109/21.52551>
- [3] Spong, M. W., Hutchinson, S., & Vidyasagar, M. (2006). *Robot modeling and control*. Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/Robot+Modeling+and+Control-p-9780471649908>
- [4] Passino, K. M., & Yurkovich, S. (1998). *Fuzzy control*. Addison-Wesley. <https://www.pearson.com/us/higher-education/program/Passino-Fuzzy-Control/PGM228476.html>
- [5] Li, T.-H. S., et al. (2020). Adaptive fuzzy hierarchical sliding-mode control for robot manipulators. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67(9), 7329–7340. <https://doi.org/10.1109/TIE.2019.2938470>
- [6] Craig, J. J. (2018). *Introduction to robotics: Mechanics and control* (4th ed.). Pearson.
- [7] Marquez, H. J. (2003). *Nonlinear control systems: Analysis and design*. Wiley.

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 modellashtiruvchi, ta’limning yutuqlari va istiqbollari, 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’rischilari:

- 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‘lmasligi 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.

Annotatsiya, 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 etish 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 изложению 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 СТАТЬЯМ

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/>