

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMY DARAJALAR BERUVCHI
DSc. 03/28.02.2022.T.101.01 RAQAMLI ILMY KENGASH**

BERDAQ NOMIDAGI QORAQALPOQ DAVLAT UNIVERSITETI

DURDUBAEVA ROZA MURATBAEVNA

**GAZLARNI ABSORBSION TOZALASH JARAYONIDA SUVLI
SOVUTISH QURILMASINI KORROZIYALANISHIGA QARSHI
INGIBITOR OLIH TEXNOLOGIYASI**

02.00.08 – Neft va gaz kimyosi va texnologiyasi

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Buxoro – 2025

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

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

**Content of the dissertation abstract of doctor of Philosophy (PhD) on
technical sciences**

Durdubaeva Roza Muratbaevna

Gazlarni absorbsion tozalash jarayonida suvli sovutish qurilmasini
korroziyalanishiga qarshi ingibitor olish texnologiyasi..... 3

Дурдубаева Роза Муратбаевна

Технология получения ингибитора для защиты от коррозии водяного
охлаждающего устройства в процессе абсорбционной очистки газов..... 21

Durdubaeva Roza Muratbaevna

Technology for obtaining an inhibitor to protect against corrosion of the
watecooling device in the gas absorption purification process..... 39

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 42

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc. 03/28.02.2022.T.101.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

BERDAQ NOMIDAGI QORAQALPOQ DAVLAT UNIVERSITETI

DURDUBAEVA ROZA MURATBAEVNA

**GAZLARNI ABSORBSION TOZALASH JARAYONIDA SUVLI
SOVUTISH QURILMASINI KORROZIYALANISHIGA QARSHI
INGIBITOR OLIQSH TEXNOLOGIYASI**

02.00.08 – Neft va gaz kimyosi va texnologiyasi

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Buxoro – 2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.4.PhD/T4363 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Doktorlik dissertatsiyasi Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasiga (www.bmti.uz) va «Ziyonet» Axborot – ta’lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Beknazarov Hasan Soyibnazarovich
texnika fanlar doktori, professor

Rasmiy opponenlar:

Saydaxmedov Shamshidinxo‘ja Muxtorovich
texnika fanlari doktori, professor

Igankulova Nargisa Abduvalievna
kimyo fanlari nomzodi, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Qarshi davlat texnika universiteti

Dissertatsiya himoyasi Buxoro muhandislik-texnologiya instituti huzuridagi DSc.03/28.02.2022.T.101.01 raqamli Ilmiy kengashining 2025-yil 31 may soat 9⁰⁰ dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 200117, Buxoro shahar, Q.Murtazoyev ko‘chasi, 15-uy. Tel.: (+99865) 223-78-84, faks: (+99865)223-78-84, e-mail: bmti_info@edu.uz).

Dissertatsiya bilan Buxoro muhandislik-texnologiya institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (355- raqam bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 200117, Buxoro shahar, Q.Murtazoyev ko‘chasi, 15-uy. Tel.: (99865)223-78-84.)

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil 17-may kuni tarqatildi.
(2025 yil 24-martdagi №1-raqamli reestr bayonnomasi).

S.F. Fozilov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi, texnika fanlari doktori, professor.

A.T. Oltiyev

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

H.B.Do‘stov

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

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Hozirgi kunda dunyoda metallarni turli agressiv muhitlarda korroziyalanishini oldini olishning eng samarali usullaridan biri korroziya ingibitorlaridan foydalanishdir. Bizga ma'lumki, ko'pchilik ishlab chiqarishdagi qurilmalarning asosini metall va metallar asosidagi konstruksiyalardan iborat bo'lib, bularga bo'lgan talab yildan yilga oshib bormoqda. Sanoatdagi metall konstruksiyalarining barqarorligini ta'minlash, ya'ni korroziyalanishdan himoya qilish bugungi kunning dolzarb muommolaridan biriga aylanib ulgurgan. Shuni ta'kidlash joizki, qo'llaniladigan korroziya ingibitorlar imkoni boricha quyi konsentratsiyali va ekologik jihatdan toza bo'lishi, shu bilan birgalikda iqtisodiy jihatdan arzon bo'lgan ingibitorlardan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi.

Jahonda sanoati yuqori sur'atlarda rivojlanib borayotgan mamlakatlarning neft va gazni qayta ishlash sanoat qurilmalarida vujudga keladigan korrozion oqibatlarini kamaytirishda ingibitorlar sintezining yangi usullari, texnologiyalarini takomillashtirish, ekologik talablarga mosligini ta'minlash maqsadida turli tarkibli ingibitor va ularning kompozitsiyalarini olish bo'yicha izlanishlar olib borilmoqda. Bu borada mavjud xomashyo resurslaridan foydalanib, metallar korroziyasini oldini oluvchi yuqori texnik xususiyatlarga ega bo'lgan ingibitorlar va antikorrozion qoplamalar yaratishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda mahalliy xomashyolar va ikkilamchi birikmalar asosida olingan korroziya ingibitorlaridan neft va gaz, kimyo sanoati sohalarining turli agressiv va suv bilan sovutish yoki isitish tizimlarida metallar korroziyalanishini oldini olishda ingibirlash samaradorligi yuqori bo'lishi bilan bir qatorda ekologik jihatdan zararsiz bo'lgan korroziya ingibitorlarini yaratish borasida ilmiy va amaliy natijalarga erishilgan. O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha harakatlar strategiyasida «Mahalliy xomashyo va ikkilamchi resurslardan import o'rnini bosuvchi mahsulotlar olish texnologiyalarini yaratish»¹ ga qaratilgan muhim vazifalari belgilangan. Bu borada metall konstruksiyalarini korroziyasining oldini olishda iqtisodiy jihatdan samarali va ekologik jihatdan xavfsiz bo'lgan korroziya ingibitorlarini ishlab chiqarish hamda mavjud texnologiyalarni doimiy ravishda takomillashtirish muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son «2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida»gi farmoni, 2020-yil 12-avgustdagi PQ-4805-son «Kimyo va biologiya yo'nalishlarida uzluksiz ta'lim sifatini va ilm fan samaradorligini oshirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi va 2017-yil 29-avgustdagi PQ-3264-son «Kimyo sanoati tashkilotlarining eksport-import faoliyatini takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy

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

hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yoʻnalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot ishi respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining VII. «Kimyo texnologiyalari va nanotexnologiyalar» ustuvor yoʻnalishlariga muvofiq bajarilgan.

Muammoning oʻrganilganlik darajasi. Korroziya ingibitorlarini yaratish va ularning ingibirlash xossalarni tadqiq qilish boʻyicha P.Singh, E.E.Ebenso, L.O.Olasunkanmi, I.B.Obot, S.Paul, I.Koley, S.A.Muraveva, V.G.Mel'nikov, V.V.Egorov, Y.I.Kuznetsov, G.Y.Kazanskaya, N.V.Tsirulnikova, R.R.Annand, R.M.Hurd, N Hackerman., V.Y.Chernov, MDH mamlakatlaridan I.L.Rozenfeld, D.N.Borisov, A.V.Agafonkin, G.N.Danilova, A.R.Farxutdinova, O.A.Chepkasova, Yu.I.Kuznetsov, V.I.Vigdorovich, A.I.Fedotova, V.I.Levashova, Z.A.Tadjixodjaev hamda Oʻzbekiston olimlaridan H.S.Beknazarov, A.T.Djalilov, R.S.Tillayev, T.D.Siganov, F.K.Qurbanov, A.J.Xolikov, X.I.Akbarov, A.Ikramov, D.Yusupov, X.I.Qodirov, Z.I.Nurilloev, A.X.Narzullaev, N.B.Eshmamatova, N.Yodgorov va boshqa olimlar tomonidan ilmiy tadqiqot ishlarini olib borishgan.

Ushbu olimlar tomonidan olib borilgan ilmiy tadqiqot ishlari, tabiiy manbalar va sanoat mahsulotlari asosida korroziya ingibitorlarining yangi avlodini yaratish hamda ularning turli agressiv muhitlarda qoʻllashga doir nazariy va amaliy asoslari keltirilgan boʻlib, shuningdek, korroziya ingibitorlarini ishlab chiqarish texnologiyalarini takomillashtirishga qaratilgan. Tadqiqot natijalari hamda ular asosida samarali qurilmalar sanoat korxonalarida zamonaviy texnologiyalar qatorida amaliyotga joriy etilgan.

Biroq, xorij va mamlakatimiz amaliyotidan maʼlumki hozirgi vaqtda gazlarni absorbsion tozalash jarayonida suvli aylanma tizimlarda poʻlat materiallar uchun ingibirlash mexanizmlarini oʻrganish boʻyicha tadqiqotlar yetarli darajada olib borilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy taʼlim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bogʻliqligi. Ushbu dissertatsiya tadqiqoti Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq x/sh №12-06 «Mahalliy xomashyolar asosida yangi samarali oligomer korroziya ingibitorlarini ishlab chiqish va qoʻllash» (2007 y.) mavzusidagi xoʻjalik shartnomasi hamda A12-005 «Mahalliy xomashyolar asosida yangi samarali korroziya ingibitorlarini olish va ularni qoʻllash» (2015-2017 yy.) mavzusidagi amaliy loyiha doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi gazlarni absorbsion tozalash jarayonida suvli sovutish qurilmasini korroziyalanishiga qarshi ingibitor olish texnologiyasini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

Muborak GQIZ ning texnologik tizimlarida uchraydigan korroziya jarayonlarini oʻrganish va ularning kelib chiqish sabablarini aniqlash;

fosfor (V) xlorid va sianur kislota asosida korroziya ingibitorlarini sintez qilishning optimal sharoitlarini aniqlash;

korroziya ingibitorlarining samaradorligini elektrokimyoviy va gravimetrik usullar yordamida tadqiq qilish hamda ularning po‘lat yuzasiga adsorbsiya izotermalari va termodinamikasini tadqiq qilish;

korroziya tezligiga va himoyalash darajasiga harorat hamda konsentratsiyaning ta‘sirini o‘rganish orqali ingibirlash mexanizimini aniqlash;

gazlarni absorpsion tozlashda sovitish qurilmasining korroziyasiga qarshi samaradorligi yuqori bo‘lgan korroziya ingibitorini olish texnologiyasini ishlab chiqish va iqtisodiy samaradorligini asoslash.

Tadqiqotning ob‘yekti sifatida Muborak GQIZ dagi suvli sovutgich, St20 markali po‘lat, fosfor (V) xlorid va sianur kislota kabi moddalar olingan.

Tadqiqotning predmetini korroziya ingibitorining ingibirlash mexanizmini aniqlash, turli konsentratsiya va haroratlarda ingibirlash samaradorligi hamda himoyalash darajalarini tadqiq qilish, shuningdek, korroziya ingibitorini olish texnologiyasi tashkil etgan.

Tadqiqotning usullari. Dissertatsiya ishida korroziya ingibitorining tuzilishi hamda fizik-kimyoviy xossalarini aniqlashda IQ-spektroskopiya va ingibirlash samaradorligini aniqlashda elektrokimyoviy va gravimetrik, sirt morfologiyasini o‘rganishda skanerlovchi elektron mikroskop, kvant-kimyoviy va atom kuchi mikroskopi kabi usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

fosfor (V) xlorid va sianur kislota asosida yangi tarkibli PSK-1 markali korroziya ingibitori sintez qilingan va sintez sharoitining kinetikasi aniqlangan;

sintez jarayoni kinetikasi asosida fosfor (V) xlorid va sianur kislota 1:5 mol nisbati, harorat 90-100°C da va 48 soat vaqt davomiyligida maksimum 87,15% unumga erishishi isbotlangan;

sintez qilib olingan PSK-1 korroziya ingibitorining ingibirlash mexanizmini kinetik va termodinamik qonuniyatlar asosida, ingibirlash samaradorligini gravimetrik va elektrokimyoviy usullar yordamida, sirt morfologiyasini esa skanerlovchi elektron mikroskop kabi usullar yordamida aniqlangan;

PSK-1 markali korroziya ingibitorini St20 markali po‘lat namunalariga 333 K da ingibitor konsentratsiyasi 50-200 mg/l bo‘lgan holda, ingibirlash samaradorligi 93,6-97,10 % ekanligi aniqlangan;

gazlarni absorpsion tozalash jarayonida suvli sovutish qurilmasining korroziyasiga qarshi PSK-1 markali korroziya ingibitorini olish va qo‘llash texnologiyasi amaliy asoslangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

fosfor (V)-xlorid va sianur kislota asosidagi korroziya ingibitorini sintez qilishning optimal texnologik parametrlari ishlab chiqilgan;

fosfor (V) xlorid va sianur kislota asosida sintez qilingan korroziya ingibitorining tarkibi va tuzilishi zamonaviy fizik-kimyoviy usullar yordamida aniqlangan;

korroziya ingibitorining samaradorligi elektrokimyoviy va gravimetrik usullar yordamida o'rganilgan hamda korroziya ingibitorining po'lat yuzasiga adsorbsiya izotermalari va termodinamikasi aniqlangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi olingan natijalar ishonchliligi zamonaviy usul va vositalar yordamida nazariy hisob kitoblarning eksperimental natijalar bilan uyg'unligi, termodinamik, kinetik va adsorbsion nazariyalar asosida ingibitorining samaradorligi aniqlanganligi, hamda laboratoriya olingan natijalar sanoat – sinov tajribalari davomida tasdiqlanganligi bilan asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati, fosfor (V) xlorid va sianur kislota asosida korroziya ingibitori sintez qilinganligi, uning tuzilishi, optimal nisbatlari, fizik-kimyoviy xususiyatlarining o'zaro bog'liqligi, shuningdek, ingibirlash mexanizmini aniqlanishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati, sintez qilingan PSK-1 markali korroziya ingibitorini neft va gaz sanoatining turli agressivligi yuqori bo'lgan muhitlarda hamda aylanma suvli tizimlarda po'latni korroziyadan yuqori darajada himoyalab, metall konstruksiyalarini uzoq muddat davomida samarali ishlash imkoniyatlarini oshirishga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Gazlarni adsorbsion tozalash jarayonida suvli sovutish qurilmasining korroziyalanishiga qarshi ingibitor samaradorligi bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

fosfor (V) xlorid va sianur kislota asosida yangi navli korroziya ingibitori sintez qilish usuli «Muborak gazni qayta ishlash» zavodining “2021-2025-yillarda amaliyotga joriy etish bo'yicha istiqbolli ishlanmalar ro'yxati”ga kiritilgan («Muborak gazni qayta ishlash» zavodining 2022-yil 8-apreldagi №110/GK-04-son ma'lumotnomasi). Natijada, St20 markali po'lat namunalariga 333 K da ingibitor konsentratsiyasi 50-200 mg/l bo'lgan holda, ingibirlash darajasi 93,6-97,10 % samaradorlikka erishish imkonini bergan;

fosfor (V) xlorid asosida sintez qilingan yangi navli PSK-1 korroziya ingibitorini olish texnologiyasi «Navoiy kon-metallurgiya kombinati» AJ ning “2022-2025-yillarda amaliyotga joriy etish bo'yicha istiqbolli ishlanmalar ro'yxati” ga kiritilgan («Navoiy kon-metallurgiya kombinati» AJ ning 2022-yil 11-maydagi №23010107/342-son ma'lumotnomasi). Natijada, sintez qilingan PSK-1 korroziya ingibitorini kislotali yuvishdan hosil bo'luvchi agressiv kislotali-tuzli chiqindi suvlarni o'tkazuvchi va saqlovchi po'lat konstruksiyalarni korroziyadan himoyalash imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatyasi. Tadqiqot natijalari 15 ta ilmiy-amaliy, shu jumladan 7 ta xalqaro va 8 ta respublika miqyosidagi anjumanlarda muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 23 ta ilmiy ish nashr etilgan, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini

chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 8 ta maqola, jumladan 3 tasi respublika va 5 tasi xorijiy jurnallarda nashr etilgan.

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

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida o‘tkazilgan tadqiqotlarning dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, ob‘ekti va predmeti tavsiflangan, respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ishonchligi, ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo‘yicha ma‘lumotlar keltirilgan.

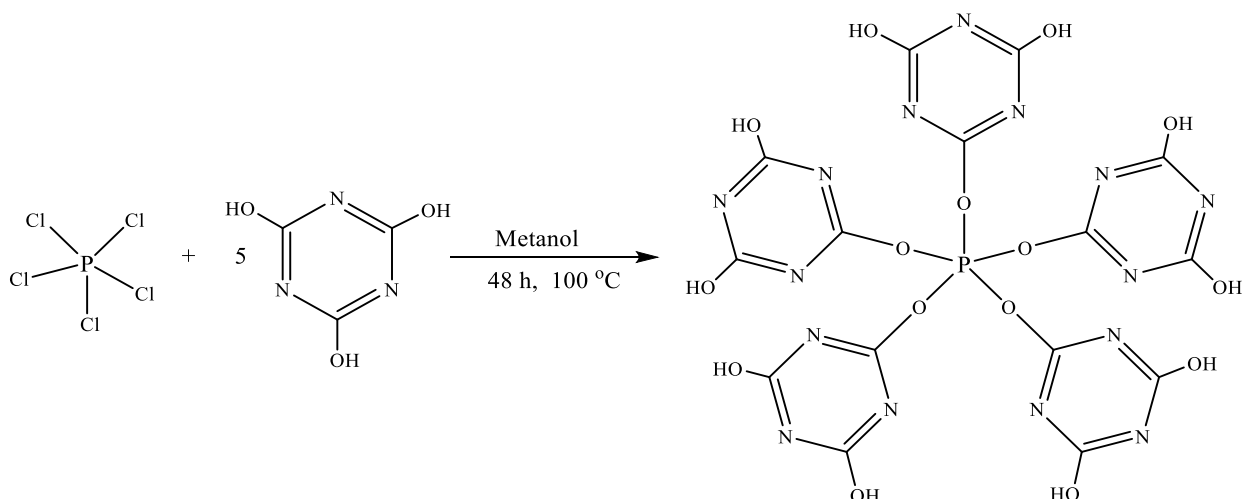
Dissertatsiyaning **“Neft-gaz, kimyo sanoatida qo‘llaniladigan turli ingibitorlar bilan ingibirlashning istiqbolli yo‘nalishlari va ularning tahlili”** nomli birinchi bobida mavzu bo‘yicha olib borilgan tadqiqot natijalari, xorijiy va mahalliy adabiyotlar tahlili batafsil yoritilgan. Ma‘lumotlar umumlashtirilgan va ilmiy-tahliliy xulosalar chiqarilgan hamda ilmiy adabiyotlardagi ma‘lumotlardan kelib chiqqan holda dissertatsiya ishining maqsadi, vazifalari, dolzarbligi va muhimligi belgilab berilgan.

Dissertatsiyaning **“Tarkibida fosfor va azot saqlagan oligomer korroziya ingibitorlarini olish”** deb nomlangan ikkinchi bobida qo‘llanilgan boshlang‘ich materiallarning xususiyatlari, tadqiqot usullari hamda sintez qilingan birikmalarning fizik-kimyoviy xossalari o‘rganish, IQ-spektroskopiya usullaridan foydalangan holda sintez qilingan birikmalarning tuzilishini aniqlashga yondashuvi tasvirlangan. Bundan tashqari, korroziya ingibitorlarining ingibirlash samaradorligi va mexanizmini aniqlashda elektrokimyoviy, gravimetrik, adsorbsion hamda termodinamik tadqiqot usullari keltirilgan.

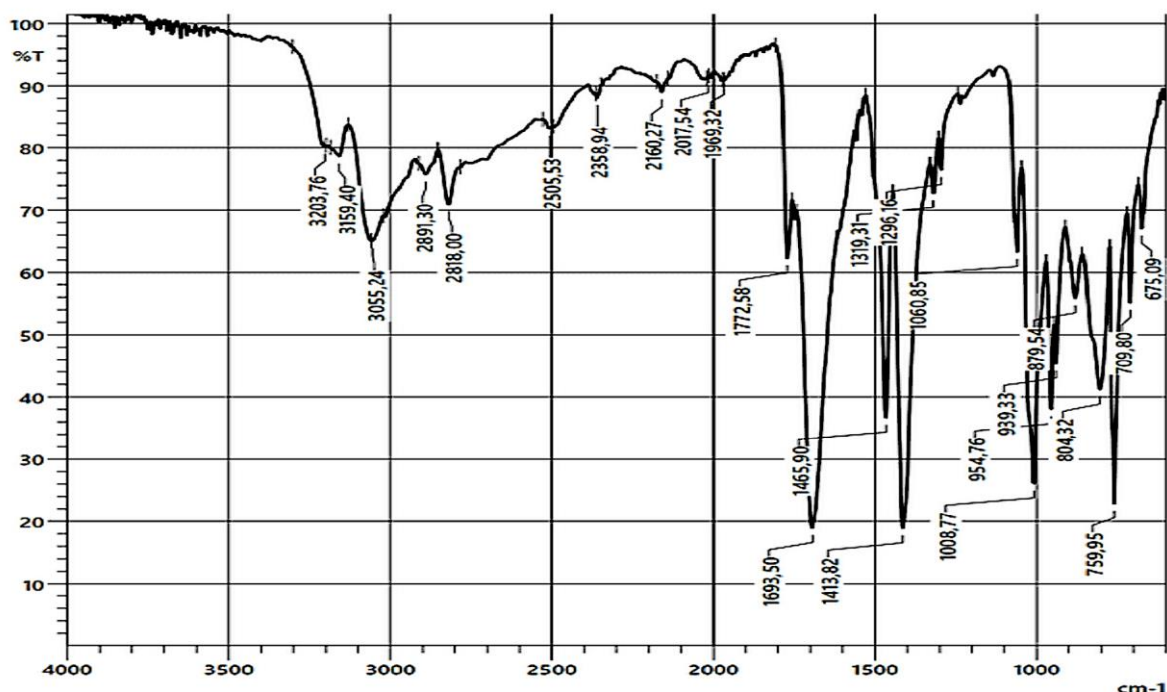
Korroziya ingibitorini sintez qilish uchun fosfor (V) xlorid va sianur kislota ishtirokidagi reaksiya 48 soat vaqt davomida metanol erituvchisida olib borilgan.

Ushbu reaksiyaning eng muhim parametrlaridan biri bu harorat bo‘lib, bunda harorat 90 - 100°C harorat oralig‘ida olib borildi. Dastlab sianur kislota 5 mol nisbatda olib kolbaga solib, ustiga metanoldan eriguncha quyildi. So‘ng ozgina harorat berib qizdirib magnitli aralashtirgich bilan aralashtirib turildi. Keyin ustiga PCl_5 dan oz-ozdan solib reaksiya boshqarib turiladi. Dastlab aralashma sariq rangda, ma‘lum vaqtdan so‘ng yashil rangga o‘tdi. 1 soatdan so‘ng aralashma quyushib boshlaydi. Reaksiya natijasida ajralgan suyuq va quyuq faza filtr qog‘ozida ajratiladi. Suyuq faza bizning tadqiqot ishimiz asosida olingan korroziya ingibitori bo‘lib qisqacha PSK-1 deb nomlandi.

PSK-1 markali korroziya ingibitorini olishning reaksiya tenglamasi quyida keltirilgan:



Sintez qilib olingan PSK-1 markali korroziya ingibitori IQ-spektroskopiyada tahlil qilindi.



1-rasm. Fosfor (V) xlorid va sianur kislota asosida olingan PSK-1 markali korroziya ingibitorning IQ-spektroskopik tahlili

Tahlil natijalariga ko‘ra, PSK-1 markali korroziya ingibitorining IQ spektrida gidroksil guruhlar OH⁻ 3055,24 va 3203,76 sm^{-1} keng to‘lqin tebranish sohada va -C=N- bog‘lari 1693,50 sm^{-1} sohalarida paydo bo‘lgan. P-O-C bog‘lari esa 1296,16 sm^{-1} tebranish sohasida paydo bo‘lgan.

Dissertatsiyaning **“Sintez qilingan PSK-1 markali korroziya ingibitorining ingibirlash jarayonlarini tadqiq qilish”** deb nomlangan uchinchi bobida sintez qilingan korroziya ingibitorlarining ingibirlash samaradorligini elektrokimyoviy va gravimetrik, ingibirlash mexanizmini termodinamik va kinetik, ingibitorlarning po‘lat yuzasiga ta‘sir mexanizmlarini esa skanerlovchi elektron mikroskop va atom kuchi mikroskoplari yordamida o‘rganilgan tadqiqot natijalari keltirilgan.

Olingan korroziya ingibitorlari turli kislotali va ishqoriy muhitda 09G2C, 12X18N10T va St20 markali po‘latlarda korroziya jarayonlarining sinov tadqiqot ishlari olib borildi.

Korroziya ingibitorlarining ingibirlash mexanizmini va samaradorligini CS-350 markali potentsiostatida qutblanish egri chiziqlarini o‘lchash orqali ham o‘rganildi. Bunda, po‘latning ingibitorli va ingibitorsiz eritmadagi potentsiallarining farqidan po‘lat elektrodi yuzasining ingibirlanish samaradorligini aniqlash mumkin. Ushbu jarayonga beriladigan tokni korrozion tok deb ham yuritiladi. Korroziya ingibitori mavjud bo‘lgan eritmalarda po‘lat elektrodining yuzasi ingibirlanishi natijasida korrozion tok miqdori sezilarli darajada kamayishini ko‘rishimiz mumkin.

1-jadval

PSK-1 markali korroziya ingibitorining fon-1 eritmadagi turli haroratlarda 360 soat davomida gravimetrik usulda aniqlangan tormozlash koeffitsienti (γ), sirtni to‘la qoplash darajasi (θ), himoyalash darajasi (η) qiymatlari

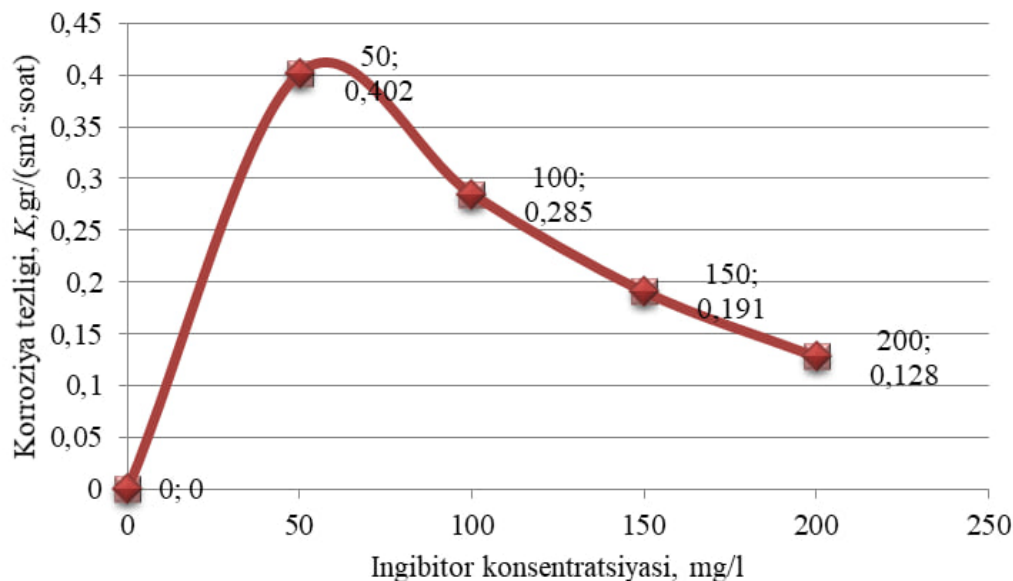
Ingibitor nomi	T, (K)	C, (mg/l)	K, gr/(sm ² ·soat)	γ	η , (%)	θ
PSK-1	313	-	1,53	-	-	-
		50	0,336	4,55	95,6	0,9567
		100	0,253	6,05	96,03	0,9603
		150	0,17	9	98,0	0,9805
		200	0,107	14,29	98,9	0,9896
	323	-	1,77	-	-	-
		50	0,373	4,74	94,23	0,9423
		100	0,272	6,38	95,64	0,9564
		150	0,185	9,56	97,87	0,9787
		200	0,121	14,62	98,93	0,9893
	333	-	1,93	-	-	-
		50	0,402	4,8	93,62	0,9362
		100	0,285	6,77	94,43	0,9443
		150	0,191	10,1	96,32	0,9632
		200	0,128	15,07	97,10	0,9710

Gravimetrik usulda asosiy agressiv muhitlar uchun fon-1(graderni suvi) va fon-2 (8 % li xlorid kislota) eritmaları sifatida optimal konsentratsiyasini aniqlash uchun ingibitorlarning turli konsentratsiyalarida tadqiqotlar olib borildi. Bunda sinovdan o‘tkazilayotgan metall, eritmaga ingibitor qo‘shilgan va qo‘shilmagan

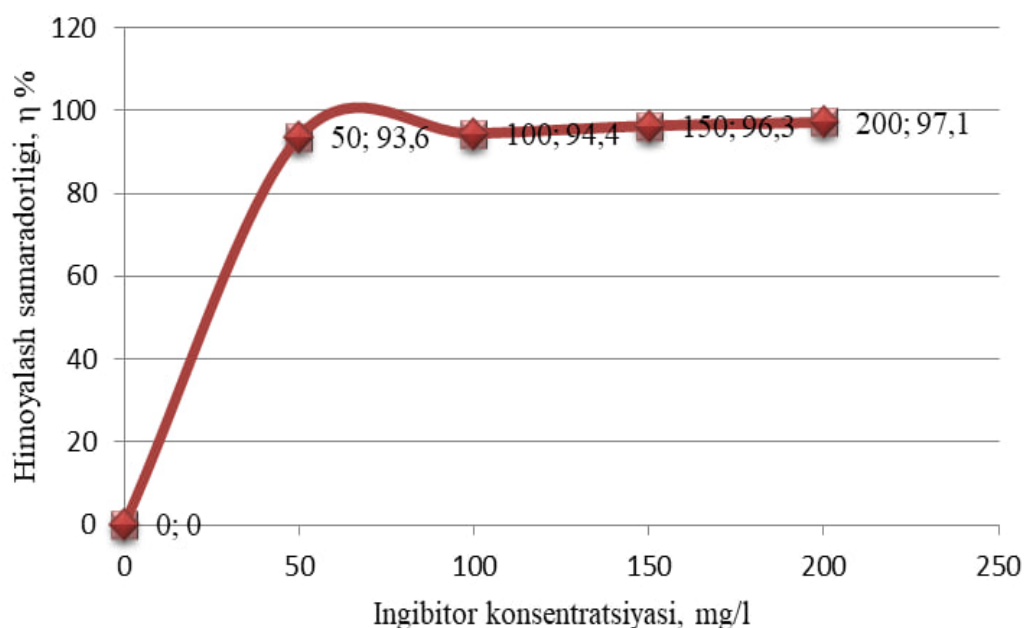
holatdagi massa yo‘qotishlari farqiga qarab aniqlandi. Tadqiqotlar 50, 100, 150, 200 mg/l konsentrsiyalarda olib borildi va 200 mg/l konsentrsiya optimal konsentrsiya deb olindi.

Yuqoridagi 1-jadval natijalaridan kelib chiqib 333 K haroratda ingibitorli va ingibitorsiz eritmalarda korroziya tezligi va himoyalash samaradorligining konsentrsiyaga bog‘liqligini 2,3-raslarda ko‘rish mumkin.

Raslarda sintez qilingan PSK-1 korroziya ingibitori sovutish tizimidagi ishchi suv ingibitorli va ingibitorsiz eritmalarda 333 K haroratda korroziya ingibitorini 200 mg/l (0,2%) qo‘shilganda uning korroziya tezligi 0,128 g/sm²·s ni, himoyalash samaradorligi 97,10 % ekanligini ko‘rishimiz mumkin.



2-rasm. 333 K haroratda PSK-1 korroziya ingibitorining fon-1 eritmada turli konsentrsiyadagi korroziya tezligi



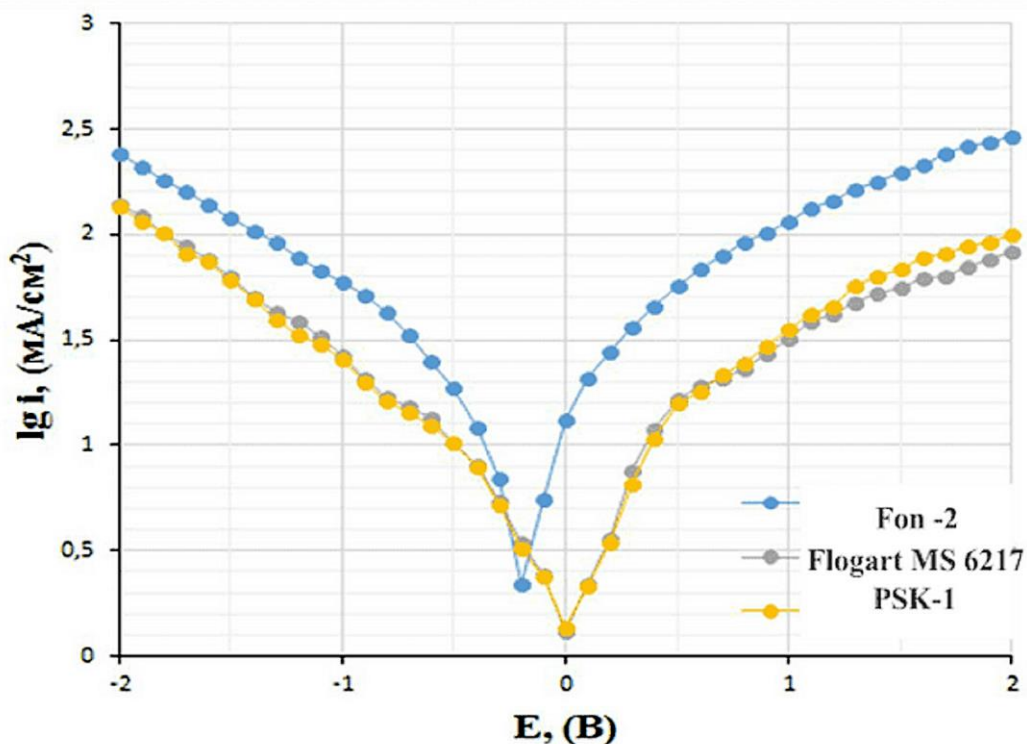
3-rasm. 333 K haroratda PSK-1 korroziya ingibitorining fon-1 eritmada turli konsentrsiyadagi ingibirlash samaradorligi

3-rasmda turli haroratlarda η (%) ning ingibitor konsentratsiyasiga nisbatan grafigi ko'rsatilgan. Grafiklarni o'rganish PSK-1 konsentratsiyasi 50 mg/l dan ko'tarilganda η (%) ning dastlabki tez o'sishini ko'rsatadi, lekin ingibitor konsentratsiyasi yanada ortishi bilan ingibirlash samaradorligi biroz oshib boradi. Bu PSK-1 ning past konsentratsiyalarda ham samarali ingibitor sifatida harakat qilishini ko'rsatadi. Bundan tashqari, harorat oshishi bilan ingibirlash samaradorligi ma'lum darajada sekin boradi.

Ingibirlash samaradorligi harorat oshishi bilan pasayib borishini metallarning erishi jarayonining ortishi nuqtai nazardan tushunish mumkin, yuqori haroratlarda ingibitor molekularining desorbsiya tezligi ortadi.

4-rasmda fon-2 eritmasida 0,02% konsentratsiyada Flogart MS6217 va PSK-1 ingibitorlari ishtirokida 333 ± 1 K da St20 po'lati uchun 1 soatdan keyin o'lchangan qutblanish egri chiziqlari taqqoslangan.

HCl eritmasiga ikkala korroziya ingibitorlari qo'shilishi PP egri chiziqlarining ham anodik, ham katodik shoxlari uchun ingibitorsiz eritma uchun egri chiziqqa nisbatan pastroq oqim zichligiga olib keladi. Tafel qiyaliklari va korroziya potentsiali deyarli o'zgarishsiz qoldi. PSK-1 va Flogart MS6217 korroziya ingibitorlari bir vaqtning o'zida korroziya jarayoniga anodik va katodik hissalarini kamaytiradigan aralash ingibitor sifatida ishlaydi.



4-rasm. 0,02% konsentratsiyada Flogart MS6217 va PSK-1 korroziya ingibitorlari fon-2 da 333 ± 1 K da St20 po'lati uchun 1 soatdan keyin qayd etilgan qutblanish egri chiziqlari

2-jadvalda E_{corr} qiymatlari va J_{corr} korroziya oqimi zichligi bilan birga polarizatsiya ma'lumotlarini tahlil qilish natijasida olingan natijalar mavjud.

Sintez qilingan PSK-1 markali korroziya ingibitorini import qilinayotgan Flogart MS6217 markali korroziya ingibitori bilan solishtirilgan natijalari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

333 ± 1 K da 0,02 % Flogart MS6217 va 0,02 % PSK-1 o'z ichiga olgan fon-2 eritmasida St20 po'latining qutublanish egri chiziq tahlil natijalari

Ingibitor nomi	E_{corr} (mV)	J_{corr} ($\mu A cm^2$)	$-bc$ (mV/dec)	ba (mV/dec)	R_p Ωcm^2	η %
PSK-1	-0,570	143,2	165	136	254,3	97,10
Flogart MS6217	-0,565	256,3	165	136	231,8	92,5

Ushbu ma'lumotlar PSK-1 ning quyi konsentratsiyalarda ham yuqori ingibirlash samaradorlikni namoyon qilganligi ushbu ingibitor tarkibida fosfor va azot atomlarining mavjudligi bilan izohlanadi.

Hozirgi vaqtda korroziya ingibitorlarining termodinamik va kinetik tadqiqot natijalari muhim jaryonlari hisoblanadi. Shundan kelib chiqib PSK-1 markali korroziya ingibitorlarining kinetik parametrlarini o'rganish, ishchi eritma sifatida suv bilan sovutish tizimidagi graderniy suvi va HCl kislotali muhitlarda o'rganildi. Arrenius tenglamasidan foydalanib tarkibida ingibitor mavjud bo'lgan va mavjud bo'lmagan eritmalarning aktivlanish energiyasi, entalpiya va entropiya qiymatlari hisoblab topildi. Olingan korroziya ingibitorlari 50, 100, 150 va 200 mg/l konsentratsiyadagi aktivlanish energiyalari o'rganildi.

Korroziya ingibitorining ingibirlash mexanizimi tushunchalarini keng yoritishda aktivlanish energiyasi (E_a), entalpiyasi (ΔH) entropiyasi (ΔS) kabi turli parametrlarini Arrenius grafigi bilan izohlashda keng qo'llaniladi va uning matematik ko'rinishi quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

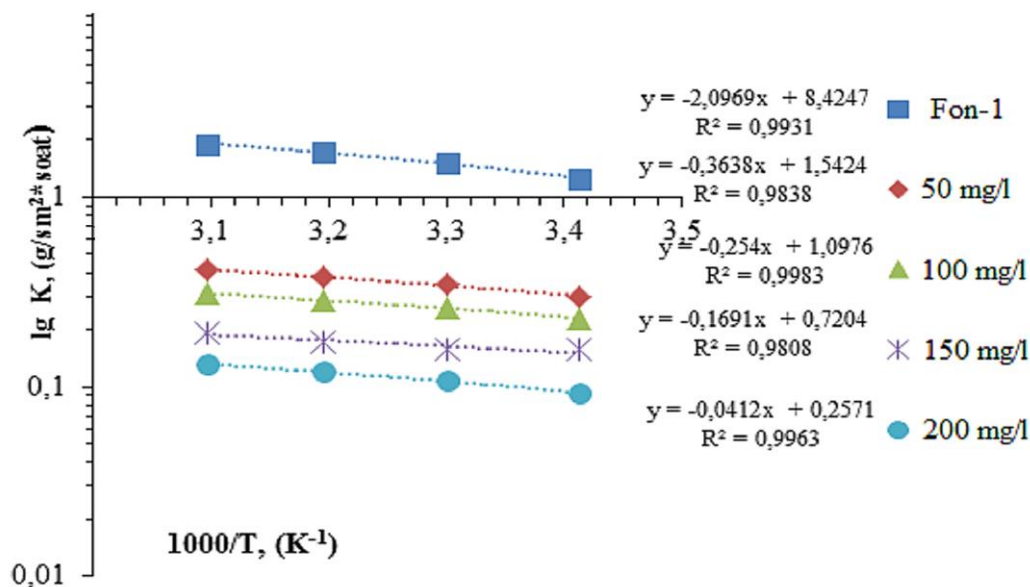
$$C_R = Ae^{-E_a/RT} \quad (1)$$

$$C_R = \frac{RT}{Nh} e^{\frac{\Delta S_a^0}{R}} e^{\frac{-\Delta H_a^0}{RT}} \quad (2)$$

bu yerda: C_R —korroziya tezligi, mm/yiliga; A —jarayon uchun Arrenius doimiysi; R —universal gaz doimiysi (8,314 J/mol·K); T —kelvin shkalasi bo'yicha Arrenius tenglamasi yordamida korroziya ingibitorlarining graderniy suvidagi haroratga bog'liqligi aniqlanadi; N —Avogadro soni ($6,02 \cdot 10^{23}$); h —Plank doimiysi ($6,626 \cdot 10^{-34}$ m²kg/s).

1 M HCl muhitda po'lat sirtining ingibitorsiz va ingibitorli muhitlardagi aktivlanish energiyalari, entalpiya va entropiya kabi kinetik parametrlari o'rganildi.

5-rasmda PSK-1 markali korroziya ingibitorining fon-1 muhitdagi aktivlanish energiyasi uchun Arrenius grafigi keltirilgan. Bunda ingibitorsiz va ingibitorli muhitlardagi lgK ning 1000/T ga bog'liqligidan E_a qiymatlari topildi.



5-rasm. PSK-1 markali korroziya ingibitorining fon-1 muhitdagi aktivlanish energiyasi uchun Arrenius grafigi

3-jadvalda ingibitorsiz eritmadagi aktivalanish energiyasi va entalpiya qiymatlari E_a 40,88 kJ/mol⁻¹ va ΔH_a 139,77 kJ/mol⁻¹ ni tashkil qilgan.

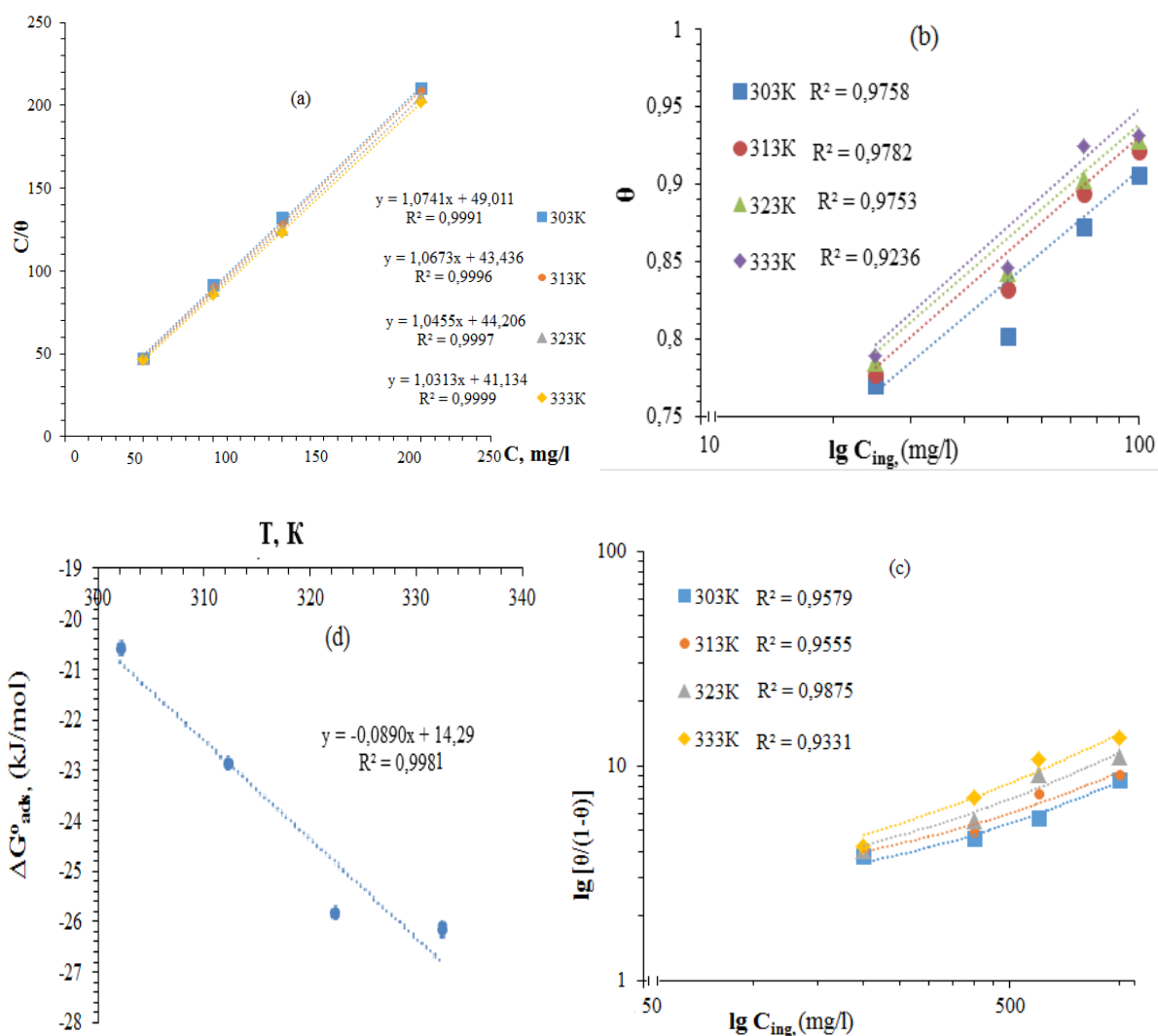
3-jadval

PSK-1 markali korroziya ingibitori ta'sirida St20 po'lat uchun fon-1 muhitdagi aktivlanish parametrlari

Inhibitor konsentratsiyasi, mg/l	E_a (kJ/mol ⁻¹)	ΔH_a (kJ/mol ⁻¹)	ΔS_a (kJ/mol ⁻¹ K ⁻¹)
0.0	40,88	139,77	363,43
50	6,66	22,98	-101,84
100	2,20	7,66	-157,37
150	1,65	5,74	-166,94
200	1,58	4,77	-179,28

Agar konsentratsiya 200 mg/l yetkanda esa E_a 1,58 (kJ/mol⁻¹) va ΔH_a 4,77 (kJ/mol⁻¹) gacha kamaygan. ΔS_a 363,43 (kJ/mol⁻¹K⁻¹) dan -179,28 (kJ/mol⁻¹K⁻¹) gacha tushgan. Bu esa St20 po'latning erish vaqtida ingibirlanishini va xemosorbsiya jarayoni borishini tasdiqlaydi.

Metall yuzasining ingibitorli eritmada ingibirlanishiga sabablardan biri bu korroziya ingibitorining yuza adsorbsiyalanishi ekanligini bir qancha tadqiqotchilar tomonidan ham e'tirof etilgan. Korroziya ingibitori tarkibida erkin ionlar bo'lishi zaryadlarni tashishga yoki funksional guruhlarining bo'lishi manfiy zaryadlar evaziga metall yuzasi bilan donor-akseptor mexanizmi orqali bog'lanish sodir bo'ladi.



6-rasm. PSK-1 korroziya ingibitorining (a) Langmuir, (b) Frumkin va (c) Tyomkin izotermasi va (d) ΔG°_{ads} ning haroratga bog‘liqligi grafigi.

PSK-1 korroziya ingibitorining metall yuzasida adsorbsiyasi Tyomkin (6-rasm a), Frumkin (6-rasm b) va Langmuir (6-rasm c) izotermalari bo‘yicha chizilgan. Olingan natijalarga ko‘ra Frumkin, Tyomkin va Langmuir izotermalarining qiymatlari solishtirilganda Langmuir izotermasining qiymati 0,99 dan yuqori bo‘lgan va bu esa bizga termodinamik parametrlarni hisoblash uchun eksperimental ma’lumotlarga mos kelishini ko‘rsatadi. PSK-1 markali korroziya ingibitorlari uchun Langmuir bilan birgalikda Frumkin va Tyomkin izotermalari ham o‘rganildi.

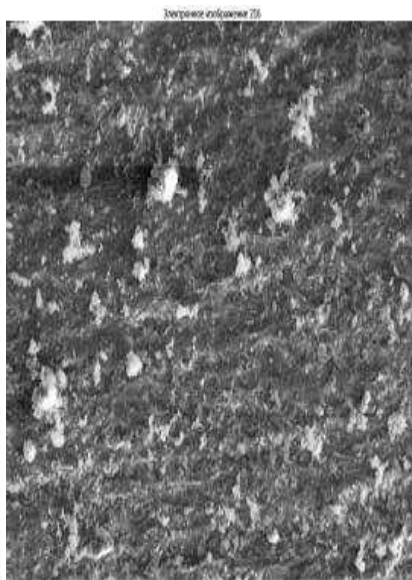
Turli haroratda korrelyatsion koeffitsiyentning qiymatlari olindi. 7a va 7b rasmlardan ko‘rishimiz mumkinki, Frumkin va Tyomkin adsorbsiya izotermalarining korrelyatsion koeffitsiyentlarning qiymatlari 1 ga yaqin yaqin emasligi sababli adsorbsiya jarayoni ushbu izotermalar bo‘yicha bormasligini ko‘rsatdi.

Po‘lat yuzasining skanerlovchi elektron mikroskop va atom kuchi mikroskopi yordamida morfologik tahlili qilinganda po‘lat o‘lchamlari $2,2 \text{ sm} \times 1,2 \text{ sm} \times 1 \text{ sm}$

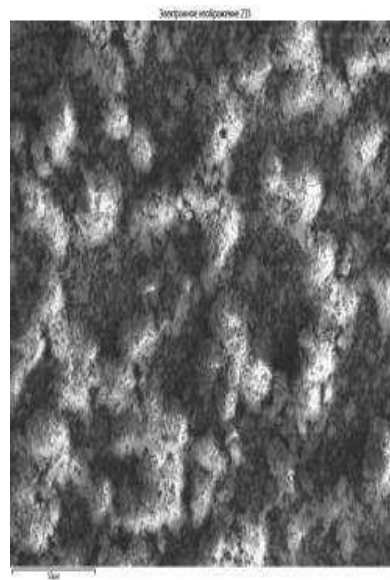
bo‘lgan namunalari turli markadagi (№400–№1200) qum qog‘ozlari bilan ishlov berilgan. Ishlov berilgandan keyingi namunalar turli konsentratsiyali ingibitorli va ingibitorsiz eritmalarda 120 soatdan 360 soatgacha bo‘lgan vaqt oralig‘ida amaliy tajribalar o‘tkazilgan. Amaliy tajriba uchun olingan po‘lat namunasining 7-rasmda amaliy tajribagacha bo‘lgan foto surati tasvirlangan.



7-rasm. Skanerlovchi elektromikroskop yordamida olingan po‘lat St20 sirtining dastlabki holati.



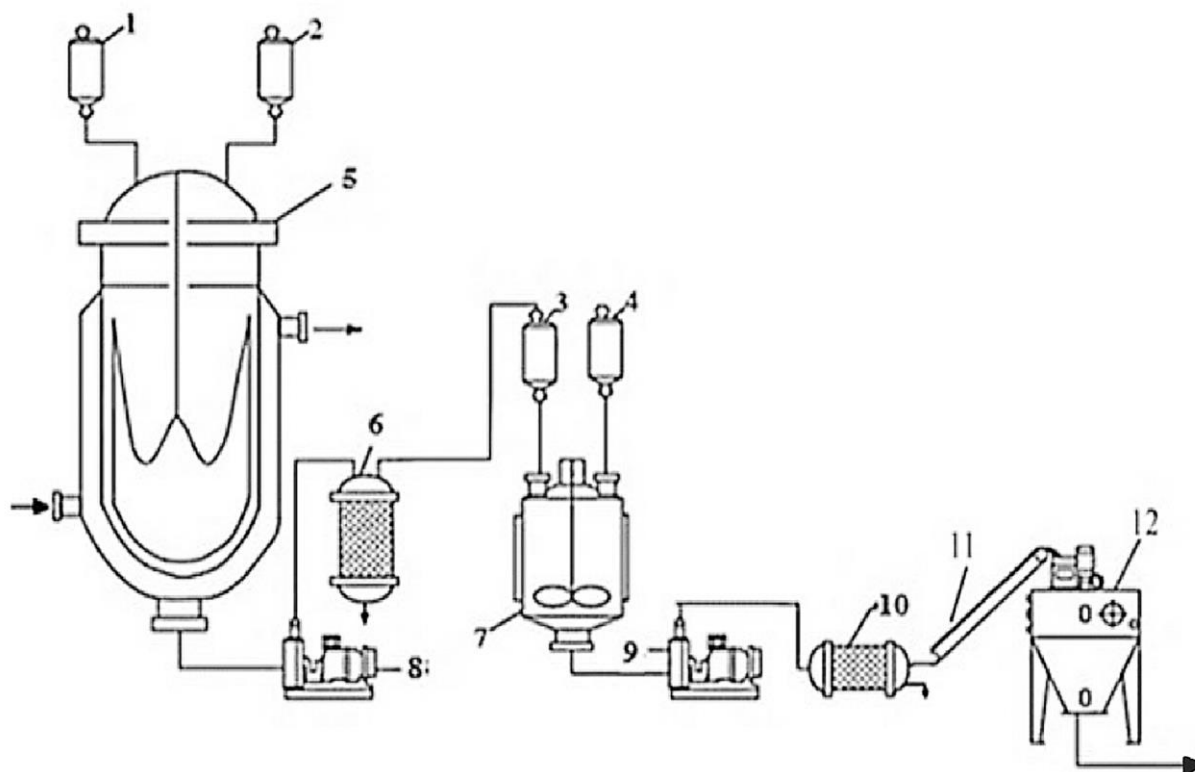
8-rasm. PSK-1 markali korroziya ingibitorining-200 mg/l konsentratsiyalarda fon-1 muhitdagi SEM fotosurati.



9-rasm. Po‘lat namunasining ingibitorsiz eritmadagi olingan 50 nm kattalikdagi SEM fotosurati.

8-rasmda PSK-1 korroziya ingibitori qo‘shilgan eritmada olingan po‘lat namunasi keltirilgan, 9-rasmda esa po‘lat namunasining texnik suvda ingibitorsiz holatda olingan namunasi keltirilgan. Har ikkala jarayonda vaqt davomiyligi 360 soatga teng. Quyida 333 K haroratda turli xil konsentratsiyada amaliy tajriba sinovlari o‘tkazilgan po‘lat namunasining SEM va element analiz natijalari tahlil qilingan.

8-rasmdan ko‘rinib turibdiki 200 mg/l konsentratsiyada korroziya ingibitorining samaradorligi yuqori ekanligini ya’ni, po‘lat tarkibida temirning miqdori past konsentratsiyali namunalar bilan solishtirganda yuqori bo‘lib, bu PSK-1 markali korroziya ingibitorining samarali ingibirlovchi xususiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi. Dissertatsiyaning **“PSK-1 markali korroziya ingibitorini olish va uni qo‘llashning texnologik sxemasi hamda uning iqtisodiy samaradorligini hisoblash”** deb nomlangan dissertatsiyaning to‘rtinchi bobi **“PSK-1 markali korroziya ingibitorini olish va uni qo‘llashning texnologik sxemasi hamda uning iqtisodiy samaradorligini hisoblash”**ga bag‘ishlangan. Sintez qilib olingan PSK-1 markali korroziya ingibitorini olishning texnologik sxemasi 10-rasmda keltirilgan.



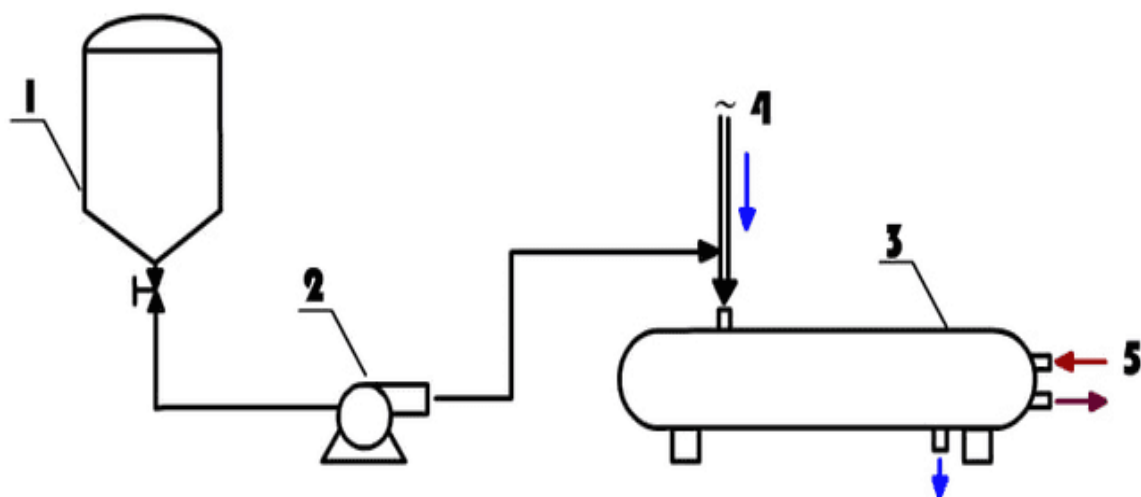
10-rasm. PSK-1 markali korroziya ingibitorini olishning prinsipial texnologik sxemasi

1,2-fosfor (V) xlorid va sianur kislota uchun sig‘im; 3,4-hosil bo‘lgan mahsulot uchun sig‘im; 5,7-reaktorlar; 6,10-filtrlar; 8,9- nasoslar; 11-quritgich; 12-maydalagich.

Fosfor (V) xlorid va sianur kislota asosida retsept bo‘yicha o‘lchangan EMK R-1000 markali 5 reaktorga 1 va 2 sig‘imlardan boshlang‘ich mahsulotlar, ya‘ni fosfor (V) xlorid va sianur kislota solib, aralashtirib turgan holda reaksiya olib borildi. Reaksiya issiqlik yutilishi bilan boradi. Shuning uchun reaksiyani olib borishda haroratni 90-100 °C oralig‘ida olib borish tavsiya etiladi. Ikkita boshlang‘ich moddalar o‘zaro ta’sirlashishi natijasida reaktion mahsulot hosil bo‘ladi va 3-reaktorda yig‘ila boshlaydi. Reaksiya natijasida hosil bo‘lgan mahsulotni qo‘shimchalardan ajratish uchun distillangan suv bilan yuvib 6- filtr yordamida ajratib olinadi. So‘ngra hosil bo‘lgan mahsulot 7-reaktorga solinadi. 7-reaktordagi aralashma 1 soat davomida 90°C aralashtirib turgan holda olib boriladi, bunga sabab yuvish jarayonida qolgan suvni bug‘latib yuborishdir bu suv 4-idishga yig‘ib olinadi.

Reaksiyaning davom etish vaqti taxminan qoldiq suvning miqdoriga qarab olib boriladi. Olingan mahsulot nasoslar orqali 10-filtr orqali ajratib olinib quritiladi va hosil bo‘lgan korroziya ingibitori qadoqlash uchun yuboriladi. Qadoqlangan mahsulot ingibitor sifatida ishlatiladi.

Barcha tadqiqot natijalaridan kelib chiqqan holda, ya‘ni metallarda agressiv ta’sir qiluvchi suv tarkibidagi agressiv komponentlar ta’siri natijasida vujudga keladigan korroziyaga qarshi 11-rasmda ko‘rsatilgan ingibirlash texnologik sxemasi taklif qilindi.



11 - rasm. Gazlarni absorbsion tozalashda qobiq quvurli issiqlik almashtirgich qurilmasining korroziyon yemirilishiga qarshi ingibirlash texnologik sxemasi

1-PSK-1 korroziya ingibitori uchun sig'im; 2-nasos; 3-issiqlik almashtirgich; I-sovutish uchun suv; II-sovutiladigan suvning chiqish joyi; III - sovutiluvchi agent; IV-sovutilgan agent.

Texnologik sxemada korroziya jarayoni asosan qobiq-quvurli 3-son issiqlik almashtirgichda yuz berishi aniqlanganligi sababli undagi sovutuvchi agentga diafragmal nasos 2 orqali PSK-1 korroziya ingibitori 1-sig'indan kerakli konsentratsiyada haydaladi. Sovutuvchi suvning eritmasiga qarab, texnologik tarmoqlardagi hajmini inobatga olgan holda konsentratsiyasi 0,02 % konsentratsiyadagi korroziya ingibitoridan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

1 tonna PSK-1 korroziya ingibitorini ishlab chiqarish uchun asosiy xomashyo narxi 4-jadvalda keltirilgan.

4-jadval

1 tonna PSK-1 korroziya ingibitori narxining va FLOGARD MS6217 markali korroziya ingibitori narxining strukturasi

№	Nomlanishi	O'lchov birligi	Miqdori, kg	Bir birligining narxi, so'm	Umumiy yig'indi, so'm
1	PSK-1	kg	1000	34706,6	34 706 574
Jami:					34 706 574
2	FLOGARD MS6217	kg	1000	43 000	43 000 000
Jami:					43 000 000

Bunda 1 tonna PSK-1 ingibitorini ishlab chiqarish uchun faqat boshlang'ich moddalarga 34 706 574 so'm sarflanadi.

Bu qiymat, hozirda import qilinayotgan FLOGARD MS6217 (Indiya) korroziya ingibitorining 1 tonnasi uchun belgilangan 43 000 000 so'mlik narxdan 9 952 111,2 so'mga arzonroqdir.

XULOSA

1. “Muborak gazni qayta ishlash” zavodida gazlarni absorbsion tozalashda suvli sovutish qurilmasining korrozion sabablari aniqlandi. Natijada tarkibida azot va fosfor atomlari saqlovchi korroziya ingibitori, aylanma suv tarkibidagi turli agressiv komponentlarga qarshi yuqori samarali ekani isbotlandi va ushbu tarkibli ingibitor sintez qilish tavsiya etildi.

2. Korroziya ingibitori olishning maqbul rejimi - fosfor (V) xlorid va sianur kislota 1:5 mol nisbatda, harorat 90-100°C va jarayon davomiyligi 48 soatga teng ekanligi isbotlandi.

3. Sintez qilingan PSK-1 korroziya ingibitorining tarkibi va tuzilishi IQ-spektroskopiyasi hamda xossalari skanerlovchi elektron mikroskop yordamida, ingibirlash qiymati esa atom-kuchi mikroskopi va kvant-kimyoviy usullar yordamida aniqlandi.

4. Sintez qilingan ingibitorning korroziyadan himoyalash samaradorligi 97,10 %, xorijiy Flogard MS6217 markali korroziya ingibitorining esa 92,5 % bo‘lib, xususiyatlari bilan taqqoslash orqali uning raqobatbardoshligi isbotlandi.

5. Sintez qilingan PSK-1 korroziya ingibitori gravimetrik usulda 200 mg/l qo‘shilganda 333 K haroratda korroziya tezligi $0,128 \text{ g/sm}^2 \cdot \text{s}$ ni, tormozlash koeffitsiyenti 15,07 ni, himoyalash samaradorligi 97,10 % ekanligi isbotlandi.

6. Nazariy va eksperimental tadqiqotlar natijasida yangi tarkibli PSK-1 markali korroziya ingibitorini olishning prinsiplial texnologik sxemasi hamda gazlarni absorbsion tozalash jarayonida suvli sovutish qurilmasining korroziyalanishiga qarshi ingibirlashning texnologik sxemasi ishlab chiqildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc. 03/28.02.2022.Т.101.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ БУХАРСКОМ ИНЖЕНЕРНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

**КАРАКАЛПАКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
БЕРДАХА**

ДУРДУБАЕВА РОЗА МУРАТБАЕВНА

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИНГИБИТОРА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ
КОРРОЗИИ ВОДЯНОГО ОХЛАЖДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В
ПРОЦЕССЕ АБСОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ**

02.00.08 – Химия и технология нефти и газ

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО
ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Бухара – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером № B2024.4.PhD/T4363.

Докторская диссертация выполнена в Каракалпакском государственном университете имени Бердака.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице научного совета по адресу (www.bmti.uz) и информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:	Бекназаров Хасан Сойибназарович доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Сайдахмедов Шамшидинхужа Мухторович доктор технических наук, профессор Игамкулова Наргиса Абдувалиевна кандидат химических наук, доцент
Ведущая организация:	Каршинский государственный технический университет

Защита диссертации состоится 31 мая 2025 года в 9⁰⁰ часов на заседании научного совета по присуждению учёных степеней DSc.03/28.02.2022.T.101.01 при Бухарском инженерно-технологическом институте (Адрес: 200117, г. Бухара, ул. К. Муртазоева, 15. Тел.: (+99865)223-78-84, факс: (+99865)223-78-84, email: bmti_info@edu.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Бухарского инженерно-технологического института (зарегистрирован под номером №355). (Адрес: 200117, г. Бухара, ул. К. Муртазоева, 15. Тел.: (+99865) 223-78-84).

Автореферат диссертации разослан 17 мая 2025 года.
(реестр протокола рассылки № 1 от 24 марта 2025 года.)

С.Ф.Фозилов
Председатель научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

А.Т.Олтиев
Ученый секретарь научного совета по
присуждению учёных степеней,
доктор технических наук, доцент

Х.Б.Дустов
Председатель научного разового
семинара при научном совета по
присуждению учёной степеней,
доктор химических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация к диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время одним из наиболее эффективных способов предотвращения коррозии металлов в различных агрессивных средах в мире является использование ингибиторов коррозии. Известно, что основой большинства производственных устройств является металл и конструкции на его основе, и спрос на них растет с каждым годом. Обеспечение устойчивости промышленных металлоконструкций, то есть защита от коррозии, стало одной из актуальных проблем сегодняшнего дня. Следует отметить, что используемые ингибиторы коррозии должны быть как можно более низкой концентрации и экологически чистыми, при этом важно использовать экономически дешевые ингибиторы.

В быстроразвивающихся странах мира, с целью снижения последствий коррозии на предприятиях по переработке нефти и газа проводятся исследования по совершенствованию новых методов и технологий синтеза ингибиторов, получению ингибиторов различного состава и их композиций с целью обеспечения соответствия экологическим требованиям. В связи с этим особое внимание уделяется созданию ингибиторов и антикоррозионных покрытий с высокими техническими свойствами, предотвращающими коррозию металлов, с использованием имеющегося сырья.

В нашей республике достигнуты научные и практические результаты по созданию экологически безвредных ингибиторов коррозии из ингибиторов коррозии, полученных на основе местного сырья и вторичных соединений, наряду с высокой эффективностью ингибирования в предотвращении коррозии металлов в различных агрессивных и водяных системах охлаждения или нагрева нефтегазовой и химической промышленности. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан определены важные задачи, направленные на "Создание технологий получения импортозамещающей продукции из местного сырья и вторичных ресурсов".¹ В связи с этим важное значение имеет производство экономически эффективных и экологически безопасных ингибиторов коррозии и постоянное совершенствование существующих технологий для предотвращения коррозии металлических конструкций.

Данная диссертационная работа в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года "О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы," Постановлениях Президента

Республики Узбекистан № ПП-4805 от 12 августа 2020 года "О мерах по повышению качества непрерывного образования и эффективности науки в

¹ Указ Президента Республики Узбекистан УП-60 от 28 января 2022 года "О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы".

области химии и биологии" и № ПП-3264 от 29 августа 2017 года "О мерах по совершенствованию экспортно-импортной деятельности организаций химической промышленности," а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

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

Степень изученности проблемы. Научные исследования о создании ингибиторов коррозии и исследовании их ингибирующих свойств проводили ученые П.Сингх, Э.Э.Эбенсо, Л.О.Оласунканми, И.Б.Оботь, С.Пол, И.Колей, С.А.Муравьева, В.Г.Мельников, В.В.Егоров, Ю.И.Кузнецов, Г.Ю.Казанская, Н.В. Цирульникова, Р.Р.Аннанд, Р.М.Херд, Н.Хакерман, В.Ю.Чернов из стран СНГ И.Л.Розенфельд, Д.Н.Борисов, А.В.Агафонкин, Г.Н.Данилова, А.Р.Фархутдинова, О.А.Чепкасова, Ю.И.Кузнецов, В.И.Вигдорович, А.И.Федотова, В.И. Левашова, З.А. Таджиходжаев, в том числе учёные Узбекистана Х.С.Бекназаров, А.Т.Джалилов, Р.С. Тиллаев, Т.Д.Сиганов, Ф.К.Курбанов, А.Дж. Холиков, Х.И.Акбаров, А.Икрамов, Д.Юсупов, Х.И.Кадыров, З.И. Нуриллоев, А.К.Нарзуллаев, Н.Б.Эшмаматова, Н.Ёдгоров и другими учеными.

Научные исследования, проводимые этими учеными, направлены на создание нового поколения ингибиторов коррозии на основе природного сырья и промышленных продуктов, на теоретическое и практическое обоснование их применения в различных агрессивных средах, а также на совершенствование технологий производства ингибиторов коррозии.

Однако из зарубежной и отечественной практики известно, что в настоящее время недостаточно изучены механизмы ингибирования стальных материалов в водно-циркуляционных системах при абсорбционной очистке газов.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Данная диссертационная работа выполнена в соответствии с планам НИР Каракалпакского государственного университета имени Бердака в рамках хоздоговора № 12-06 «Разработка и применение новых эффективных олигомерных ингибиторов коррозии на основе местного сырья» (2007 г.) и практического проекта А12-005 «Получение и применение новых эффективных ингибиторов коррозии на основе местного сырья» (2015-2017 гг.).

Целью исследования Целью является разработка технологии получения ингибитора коррозии водоохлаждающего оборудования в процессе абсорбционной очистки газов.

Задачи исследования:

изучение процессов коррозии, возникающих в технологических системах Муборакского ГПЗ, и выявление причин их возникновения;

определение оптимальных условий синтеза ингибиторов коррозии на основе хлорида фосфора(V) и циануровой кислоты;

исследование эффективности ингибиторов коррозии электрохимическими и гравиметрическими методами, а также изучение изотермы и термодинамику их адсорбции на стальных поверхностях;

определение механизма ингибирования путем изучения влияния температуры и концентрации на скорость коррозии и уровень защиты;

разработка технологии получения ингибитора коррозии с высокой противокоррозионной эффективностью при абсорбционной очистке газов и обоснование ее экономической эффективности.

Объектами исследования являются водяной холодильник Муборакского ГПЗ, сталь марки Ст20, хлорид фосфора (V) и циануровая кислота.

Предмет исследования: Определение механизма ингибирования коррозионных ингибиторов, исследование эффективности и степени защиты ингибирования при различных концентрациях и температурах, а также разработка технологии получения коррозионных ингибиторов.

Методы исследования. В диссертационной работе для определения структуры и физико-химических свойств ингибиторов коррозии использовались ИК-спектроскопия, электрохимические и гравиметрические методы для определения эффективности ингибирования, а также методы сканирующей электронной микроскопии, квантово-химического анализа и атомно-силовой микроскопии для изучения морфологии поверхности.

Научная новизна исследования:

синтезирован новый ингибитор коррозии марки PSK-1 на основе хлорида фосфора (V) и циануровой кислоты и исследована кинетика условий синтеза;

доказано достижение максимального выхода 87,15%; на основе кинетики процесса синтеза при мольном соотношении хлорида фосфора (V) и циануровой кислоты 1:5, температуре 90-100 °С и продолжительности 48 часов;

определен механизм ингибирования синтезированного ингибитора коррозии ПСК-1 на основе кинетических и термодинамических законов, эффективность ингибирования с использованием гравиметрических и электрохимических методов, а также морфология поверхности с использованием таких методов, как сканирующая электронная микроскопия;

установлено, что эффективность ингибирования ингибитора коррозии марки PSK-1 на образцах стали марки Ст20 при 333 К при концентрации ингибитора 50-200 мг/л составляет 93,6-97,10 %;

практически обоснована технология получения и применения ингибитора коррозии марки PSK-1 против коррозии водоохладительной установки в процессе абсорбционной очистки газов.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны оптимальные технологические параметры синтеза ингибитора коррозии на основе хлорида фосфора (V) и циануровой кислоты; современными физико-химическими методами определены состав и структура ингибитора коррозии, синтезированного на основе хлорида фосфора (V) и циануровой кислоты;

определены эффективность ингибитора коррозии электрохимическими и гравиметрическими методами, а также изотермы адсорбции и термодинамика ингибитора коррозии на поверхности стали.

Достоверность результатов исследования основана на согласованности теоретических расчетов с экспериментальными результатами с использованием современных методов и средств, определении эффективности ингибитора на основе термодинамических, кинетических и адсорбционных теорий, а также подтверждении результатов лабораторных испытаний в ходе опытно-промышленных работ.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследований заключается в том, что синтезирован ингибитор коррозии на основе хлорида фосфора (V) и циануровой кислоты, установлена его структура, оптимальные соотношения, взаимосвязь между его физико-химическими свойствами, а также установлен механизм ингибирования.

Практическая значимость результатов исследований заключается в том, что синтезированный ингибитор коррозии PSK-1 обеспечивает высокую защиту стали от коррозии в различных высокоагрессивных средах нефтегазовой отрасли и в системах оборотного водоснабжения, повышая потенциал длительной эффективной эксплуатации металлических конструкций.

Внедрение результатов исследования. На основании полученных научных результатов по эффективности ингибитора коррозии в водоохладительном устройстве в процессе абсорбционной очистки газа:

Способ синтеза нового типа ингибитора коррозии на основе хлорида фосфора (V) и циануровой кислоты включен в «Перечень перспективных разработок для внедрения в 2021-2025 годах» АО «Мубаракский газоперерабатывающий завод» (справка АО «Мубаракский газоперерабатывающий завод» от 08.04.2022 г. №110/GK-04). В результате уровень ингибирования образцов стали Ст20 при 333 К с концентрацией ингибитора 50-200 мг/л позволил достичь эффективности 93,6-97,10 %;

технология получения нового типа ингибитора коррозии PSK-1, синтезированного на основе хлорида фосфора (V), включена в «Перечень

перспективных разработок для внедрения в 2022-2025 годах» АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» (справка №23010107/342 АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» от 11 мая 2022 года). В результате синтезированный ингибитор коррозии PSK-1 позволил защитить от коррозии стальные конструкции, подвергающиеся воздействию и содержащие агрессивные кислотно-солевые сточные воды, образующиеся при кислотной мойке.

Апробация результатов исследования. результаты исследования были представлены и обсуждены на 15 научно-практических конференциях, в том числе 7 международных и 8 республиканских.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 23 научных работ, из них 8 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе 3 в республиканских и 5 в зарубежных журналах.

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обосновывается актуальность и необходимость проведенного исследования, описываются цели и задачи, объект и предмет исследования, указывается его соответствие приоритетным направлениям развития науки и техники республики, описывается научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются достоверность, научно-практическая значимость полученных результатов, приводятся сведения о внедрении результатов исследования в практику, опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **"Перспективные направления ингибирования различными ингибиторами, применяемыми в нефтегазовой, химической промышленности и их анализ"** подробно освещены результаты исследований, проведенных по теме, анализ зарубежной и отечественной литературы. Обобщены данные и сделаны научно-аналитические выводы, а на основе информации научной литературы определены цель, задачи, актуальность и значимость диссертационной работы.

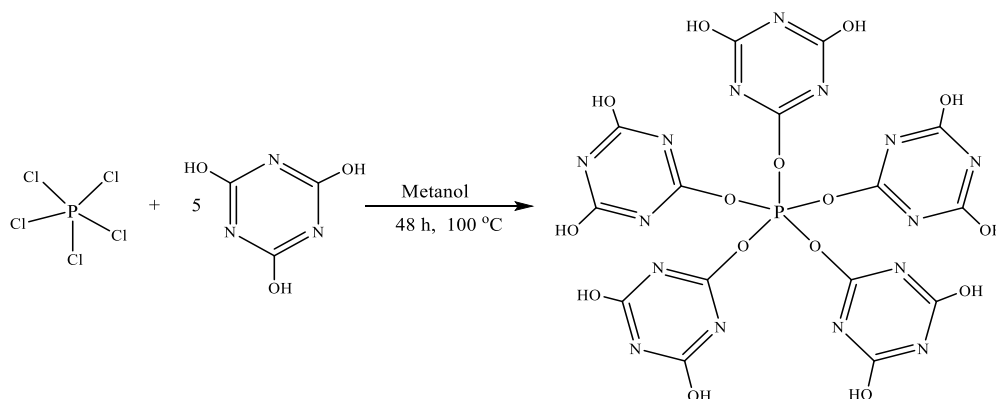
Во второй главе, под названием **«Получение олигомерных ингибиторов коррозии, содержащих фосфор и азот»**, описаны свойства используемых исходных материалов, методы исследования, а также изучение физико-химических свойств синтезированных соединений, подход к определению структуры синтезированных соединений с использованием методов ИК-спектроскопии. Кроме того, приведены методы электрохимических, гравиметрических, адсорбционных и

термодинамических исследований для определения эффективности и механизма ингибирования ингибиторов коррозии.

Для синтеза ингибитора коррозии реакцию в присутствии хлористого фосфора (V) и циануровой кислоты проводили в метанольном растворителе в течение 48 часов.

Наиболее важным параметром данной реакции является температура, при которой температура проводилась в диапазоне температур 90 – 100 °С. Сначала циануровую кислоту вносили в колбу в соотношении 5 молей, заливали до растворения метанолом, нагревали до небольшой температуры и смешивали с магнитной мешалкой. Затем насыпают понемногу PCl_5 и регулируют реакцию. Сначала смесь была желтой, а через некоторое время перешла в зеленый цвет. Через 1 час смесь стала сгущаться. Жидкая и густая фазы, выделенные в результате реакции, разделены на фильтровальной бумаге. Жидкая фаза - ингибитор коррозии, полученный на основе нашей исследовательской работы, был кратко назван PSK-1.

Уравнение реакции получения ингибитора коррозии марки PSK-1 представлено ниже.



Синтезированный ингибитор коррозии PSK-1 был проанализирован в ИК-спектроскопии.

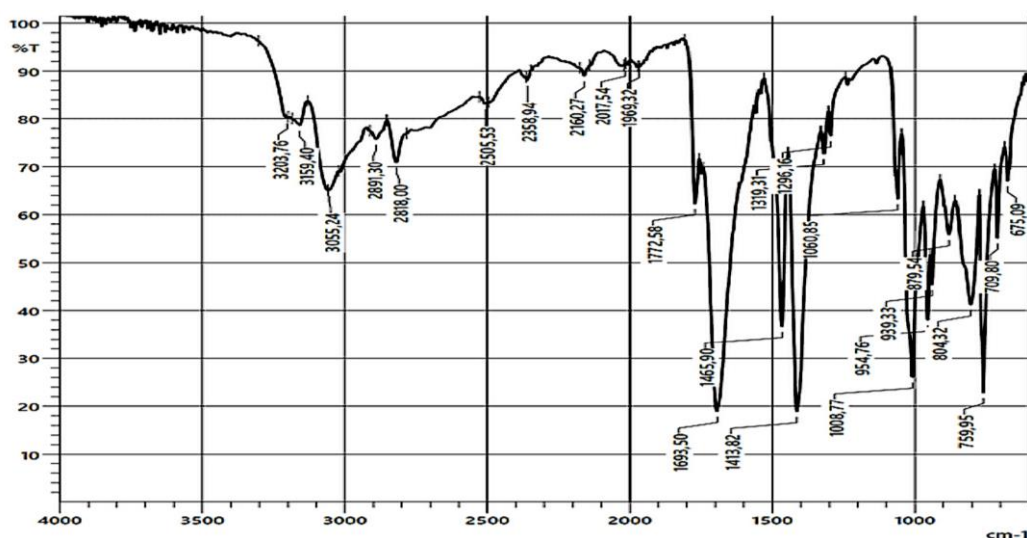


Рис.1. ИК-спектр ингибитора коррозии марки PSK-1 на основе фосфора (V) хлорида и циануровой кислоты

Структура синтезированного ингибитора коррозии была проанализирована методом ИК-спектроскопии. Согласно данным анализа, в ИК-спектре ингибитора коррозии марки PSK-1 широкая полоса колебаний гидроксильных групп OH- наблюдается в областях 3055,24 и 3203,76 см⁻¹, связи –C=N– проявляются в области 1693,50 см⁻¹, а колебания связей P–O–C фиксируются в колебательной области 1296,16 см⁻¹.

В третьей главе диссертации, названной **«Исследование процессов ингибирования синтезированного ингибитора коррозии марки PSK-1»**, приведены результаты исследований эффективности ингибирования синтезированными ингибиторами коррозии методом электрохимического и гравиметрического анализа, механизма ингибирования с использованием термодинамических и кинетических подходов, а также представлены влияния ингибиторов на поверхность стали, изученные с помощью сканирующего электронного и атомно-силового микроскопов.

Проведены экспериментальные исследования процессов коррозии полученных ингибиторов коррозии в различных кислотных и щелочных средах сталей марки 09G2C, 12X18H10T и Ст20.

Механизм ингибирования и эффективность ингибиторов коррозии также изучали путем измерения кривых поляризации на потенциостате марки CS-350. При этом по разнице потенциалов стали в растворе с ингибитором и без ингибитора можно определить ингибирующую эффективность поверхности стального электрода. Ток, подаваемый в этот процесс, также называют коррозионным током. Можно проследить, что в растворах, содержащих ингибитор коррозии, количество коррозионного тока значительно уменьшается в результате ингибирования поверхности стального электрода.

Гравиметрическим методом проводились исследования для определения оптимальных концентраций ингибиторов в присутствии растворов фон-1 (градерная вода), фон-2 (8% соляной кислоты) и фон-3 (0,5 М серной кислоты) для основных агрессивных сред. При этом испытуемый металл определяли по разнице потерь массы в растворе с добавлением и без добавления ингибитора. Исследования проводились в концентрациях 50, 100, 150, 200 мг/л, и оптимальной концентрацией была принята концентрация 200 мг/л.

На основании результатов, представленных в таблице 1, зависимость скорости коррозии и эффективности защиты от концентрации в растворах с ингибиторами и без них при температуре 333 К представлена на рисунках 2 и 3.

На рисунках видно, что скорость коррозии синтезированного ингибитора коррозии ПСК-1 в системе охлаждения с ингибитором и без него при температуре 333 К при добавлении 200 мг/л (0,2%) ингибитора коррозии составляет 0,128 г/см² с, а эффективность защиты - 97,10%.

Таблица -1

Значения коэффициента торможения (γ), степени покрытия поверхности (θ) и уровня защиты (η), определенные методом гравиметрии для ингибитора PSK-1 в растворе фон-1 при различных температурах за 360 часов

Ингибитор	T, К)	C, (мг/л)	K, гр/(см ² ·ч)	γ	η , (%)	θ
PSK-1	313	-	1,53	-	-	-
		50	0,336	4,55	95,6	0,9567
		100	0,253	6,05	96,03	0,9603
		150	0,17	9	98,0	0,9805
		200	0,107	14,29	98,9	0,9896
	323	-	1,77	-	-	-
		50	0,373	4,74	94,23	0,9423
		100	0,272	6,38	95,64	0,9564
		150	0,185	9,56	97,87	0,9787
		200	0,121	14,62	98,93	0,9893
	333	-	1,93	-	-	-
		50	0,402	4,8	93,62	0,9362
		100	0,285	6,77	94,43	0,9443
		150	0,191	10,1	96,32	0,9632
		200	0,128	15,07	97,10	0,9710

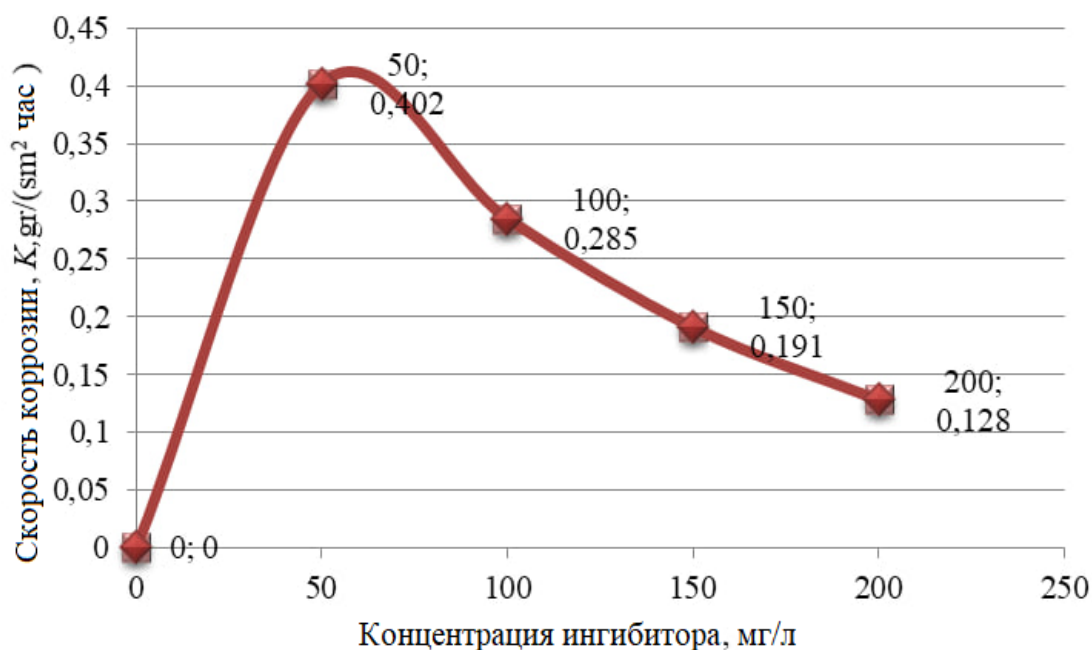


Рис.2. Скорость коррозии ингибитора коррозии PSK -1 различных концентраций в растворе фон-1 при температуре 333 К

На рисунке 3 представлен график зависимости η (%) от концентрации ингибитора при различных температурах. Изучение графиков показывает начальный быстрый рост η (%) при увеличении концентрации PSK-1 более 50 мг/л, но с дальнейшим увеличением концентрации ингибитора эффективность ингибирования несколько увеличивалась. Это указывает на то, что PSK-1 действует как эффективный ингибитор даже при низких концентрациях. Кроме того, с повышением температуры эффективность ингибирования в определенной степени замедлялась.

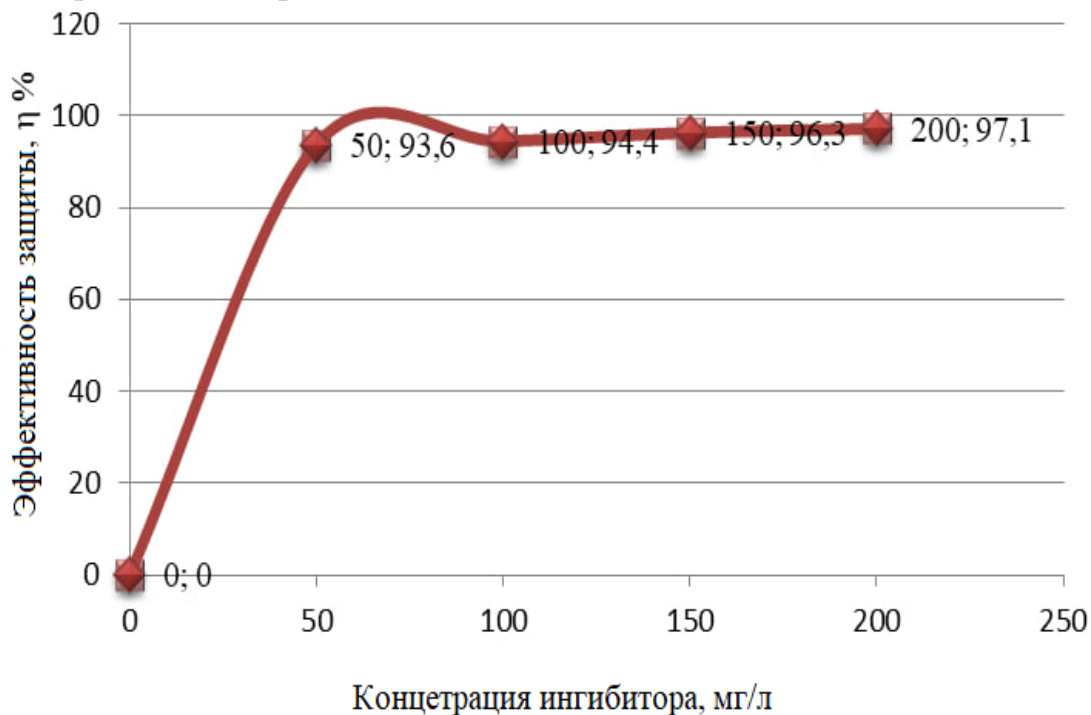


Рис.3. Эффективность ингибирования ингибитора коррозии PSK -1 различных концентраций в фоновом

Снижение эффективности ингибирования с повышением температуры можно понять с точки зрения увеличения процесса растворения металлов, при высоких температурах скорость десорбции молекул ингибитора увеличивается.

На рис. 4 сравниваются кривые поляризации, измеренные через 1 час для стали Ст20 при 333 ± 1 К в присутствии ингибиторов Флогарта MS6217 и PSK-1 в концентрации 0,02% в растворе фона-2.

Добавление в раствор HCl обоих ингибиторов коррозии приводит к более низкой плотности потока для анодических и катодических ветвей кривых РР по сравнению с кривой для беспрепятственного раствора. Склоны Тафеля и потенциал коррозии остались практически неизменными. Ингибиторы коррозии PSK-1 и Flogart MS6217 функционируют как комбинированные ингибиторы, одновременно снижающие анодический и катодический вклады в коррозионный процесс.

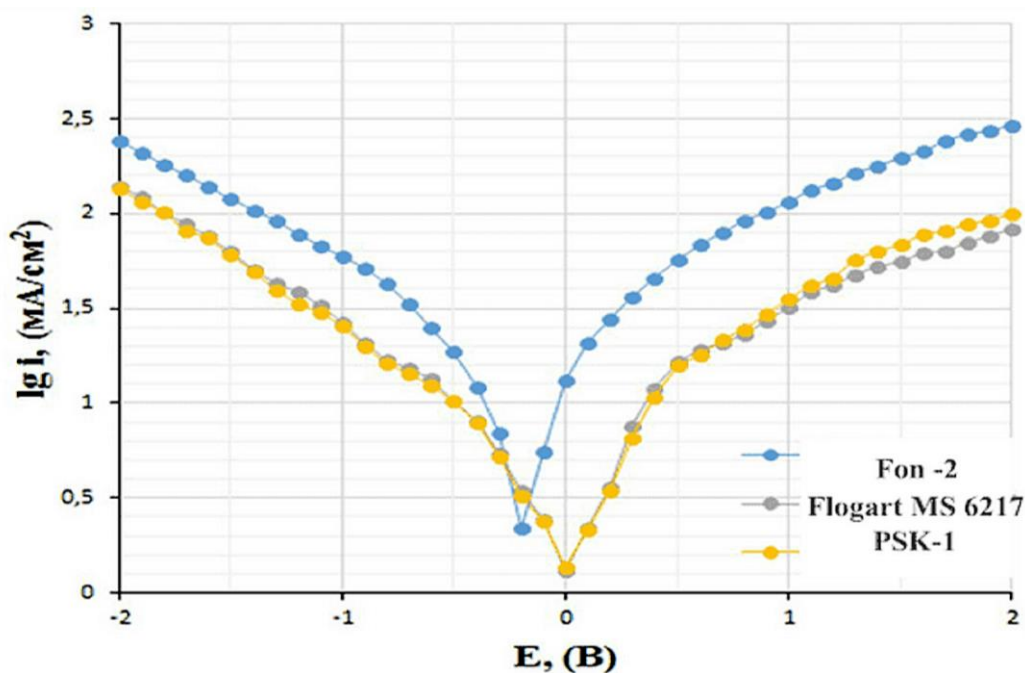


Рис. 4. Поляризационные кривые стали Ст20 в растворе фон-2 с 0,02 % концентрацией ингибиторов Flogart MS6217 и PSK-1 при 333 ± 1 К после 1 часа

В таблице 2 приведены результаты анализа данных поляризации с значениями E_{corr} и плотностью коррозионного потока J_{corr} .

Результаты сравнения синтезированного ингибитора коррозии марки PSK-1 с импортным ингибитором коррозии марки Flogart MS6217 приведены в таблице 2.

Таблица -2

Результаты анализа поляризационных кривых стали St20 в растворе фон-2 с содержанием 0,02% Flogart MS6217 и PSK-1 при 333 ± 1 К

Наименования ингибитора	E_{corr} (mV)	J_{corr} ($\mu\text{A cm}^2$)	$-bc$ (mV/dec)	ba (mV/dec)	R_p Ωcm^2	η %
PSK-1	-0,578	143,2	164	135	254,3	97,10
Flogart MS6217	-0,567	256,3	164	135	231,8	92,5

Эти данные показывают, что PSK-1 обладает высокой эффективностью ингибирования даже при низких концентрациях. Это объясняется наличием фосфора и азота в его составе.

В настоящее время важными тенденциями являются результаты термодинамических и кинетических исследований ингибиторов коррозии. Исходя из этого, для ингибитора коррозии марки PSK-1 были исследованы кинетические параметры в качестве рабочего раствора: вода системы охлаждения (градерная вода) и кислота HCl. Используя уравнение Аррениуса, были рассчитаны значения энергии активации, энтальпии и

энтропии растворов, содержащих и не содержащих ингибиторы. Изучены энергии активации полученных ингибиторов коррозии в концентрациях 50, 100, 150 и 200 мг/л.

В широком освещении понятий механизма ингибирования коррозионного ингибитора широко применяется описание различных параметров, таких как энергия активации (E_a), энтальпия (ΔH) и энтропия (ΔS), с помощью графика Аррениуса, и его математический вид выражается следующими уравнениями:

$$C_R = Ae^{-E_a/RT} \quad (1)$$

$$C_R = \frac{RT}{Nh} e^{\frac{\Delta S_a^0}{R}} e^{-\frac{\Delta H_a^0}{RT}} \quad (2)$$

где: C_R – скорость коррозии, мм/год; A – постоянная Аррениуса; R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/моль·К); T – температура в Кельвинах; N – число Авогадро ($6,12 \times 10^{23}$); h – постоянная Планка ($6,626 \times 10^{-34}$ м²кг/с).

Были изучены кинетические параметры, такие как энергия активации, энтальпия и энтропия стальной поверхности в безингибиторной и ингибирующей средах в 1 М НСl.

На рисунке 5 представлен график Аррениуса для энергии активации ингибитора коррозии марки PSK-1 в среде фон-1. В этом случае значения E_a были найдены из зависимости $\lg K$ от $1000/T$ в средах без ингибитора и с ингибитором.

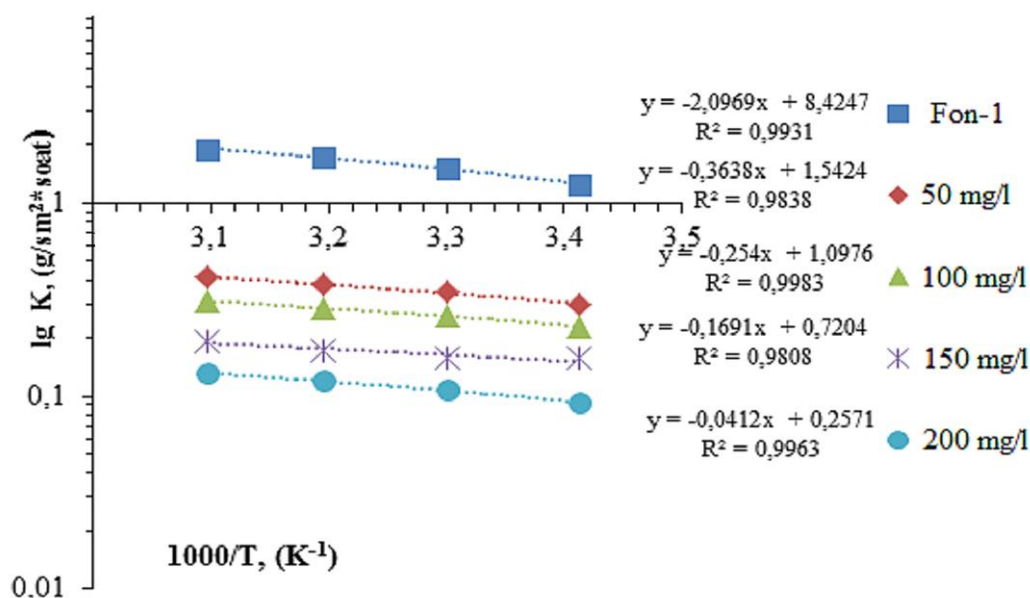


Рис. 5. График Аррениуса для энергии активации ингибитора PSK-1 в среде фон-1

В таблице 3 значения энергии активации и энтальпии в растворе без ингибитора составляют E_a 40,88 кДж/моль-1 и ΔH_a 139,77 кДж/моль-1.

Параметры активации для стали St20 под воздействием ингибитора PSK-1 в среде фон-1

Концентрация ингибитора	E_a (кДж/моль ⁻¹)	ΔH_a (кДж/моль ⁻¹)	ΔS_a (кДж/моль ⁻¹ К ⁻¹)
0.0	40,88	139,77	363,43
50	6,66	22,98	-101,84
100	2,20	7,66	-157,37
150	1,65	5,74	-166,94
200	1,58	4,77	-179,28

Если же концентрация достигает 200 мг/л, то E_a снижается до 1,58 (кДж/моль⁻¹) и ΔH_a - до 4,77 (кДж/моль⁻¹). ΔS_a снизился с 363,43 (кДж/моль⁻¹К⁻¹) до -179,28 (кДж/моль⁻¹К⁻¹). Это подтверждает, что сталь Ст20 ингибируется при плавлении и протекает процесс хемосорбции.

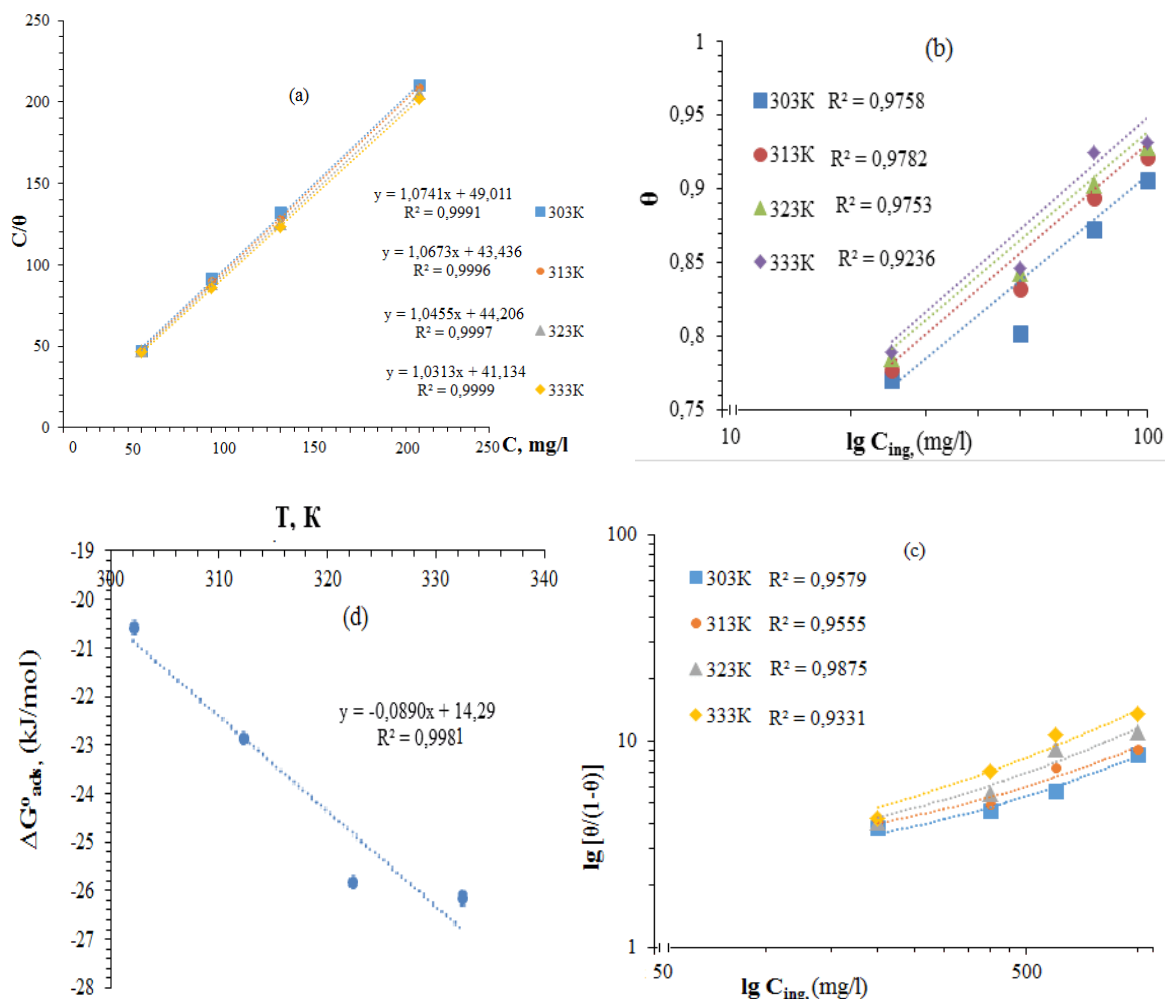


Рис. 6. Графики для ингибитора коррозии PSK-1 (а) изотерма Лэнгмюра, (б) изотерма Фрумкина, (с) изотерма Темкина, (д) зависимость ΔG^0_{ads} от температуры.

Ряд исследователей также признали, что одной из причин ингибирования поверхности металла в растворе ингибитора является поверхностная адсорбция ингибитора коррозии. Наличие свободных ионов в составе ингибитора коррозии способствует переносу зарядов или наличие функциональных групп, за счет отрицательных зарядов связывают с поверхностью металла через донорно-акцепторный механизм.

Адсорбция ингибитора коррозии PSK-1 на поверхности металла описана по изотермам Тёмкина (рис. 6 а), Фрумкина (рис. 6 б) и Лангмуира (рис. 6 в). Полученные результаты показывают, что при сравнении значений изотерм Фрумкина, Тёмкина и Лангмуира значение изотермы Лангмуира было выше 0,99, что соответствует экспериментальным данным для расчета термодинамических параметров. Также были изучены изотермы Лангмуира, Фрумкина и Тёмкина для ингибиторов коррозии марки PSK-1.

Получены значения коэффициента корреляции при различных температурах. Из рисунков 6 а и 6 б видно, что из-за того, что значения коэффициентов корреляции изотерм адсорбции Фрумкина и Тёмкина не близки к 1, процесс адсорбции не идет по этим изотермам.



Рис. 7. Исходное состояние поверхности стали St20, полученное с помощью сканирующего электронного микроскопа.

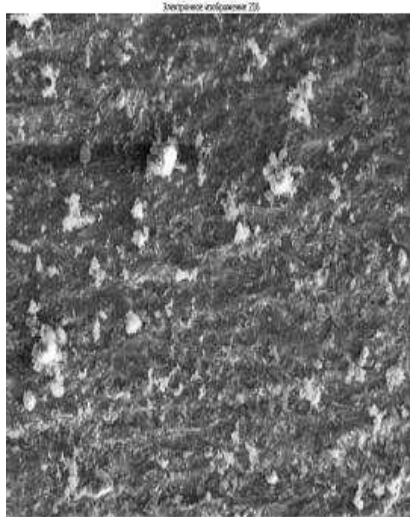


Рис. 8. Фотография СЭМ поверхности стали St20 в среде фон-1 при концентрации 200 мг/л ингибитора коррозии PSK-1.

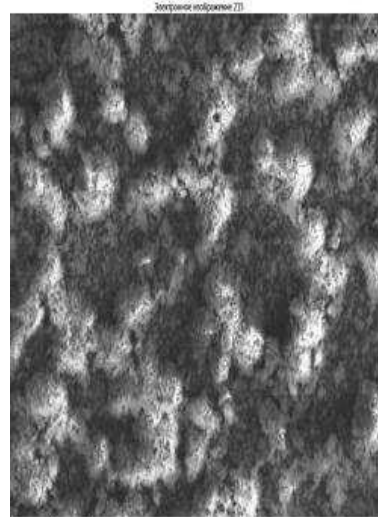


Рис. 9. Фотография СЭМ образца стали в растворе без ингибитора размером 50 нм.

Морфологический анализ поверхности стали проводился с использованием сканирующего электронного микроскопа и атомно-силового микроскопа. Пробы стали размером 2,2 см × 1,2 см × 1 см обрабатывались наждачной бумагой (№400–№1200). После обработки образцов были проведены практические эксперименты в растворах с ингибиторами и без ингибиторов различной концентрации в интервале времени от 120 до 360 часов. Фотография образца стали, взятого для практического эксперимента,

показан на рис. 7. На рис. 8 представлен рисунок образца стали, полученного в присутствии ингибитора коррозии PSK-1, а на рис. 9 представлен рисунок образца стали в технической воде без ингибитора. Продолжительность времени в обоих процессах составляет 360 часов. Ниже проанализированы результаты СЭМ и элементного анализа образца стали, который был подвергнут практическим экспериментальным испытаниям при различных концентрациях при температуре 333 К.

Как видно из рисунка 8, высокая эффективность ингибитора коррозии при концентрации 200 мг/л, т.е. высокое содержание железа в составе стали по сравнению с образцами с низкой концентрацией, свидетельствует о высокой ингибирующей способности ингибитора коррозии марки PSK-1.

Четвертая глава диссертации под названием «**Технологическая схема получения ингибитора коррозии марки PSK-1 и расчет его экономической эффективности**» посвящена технологии производства ингибитора и его технико-экономическим показателям.

Технологическая схема получения синтезированного ингибитора коррозии марки PSK-1 представлена на рис. 10: на основе хлористого фосфора (V) и циануровой кислоты в реактор ЭМК Р-1000 5 из емкостей 1 и 2 помещали исходные продукты, т.е. хлористого фосфора (V) и циануровой кислоты, и смешивали реакцию.

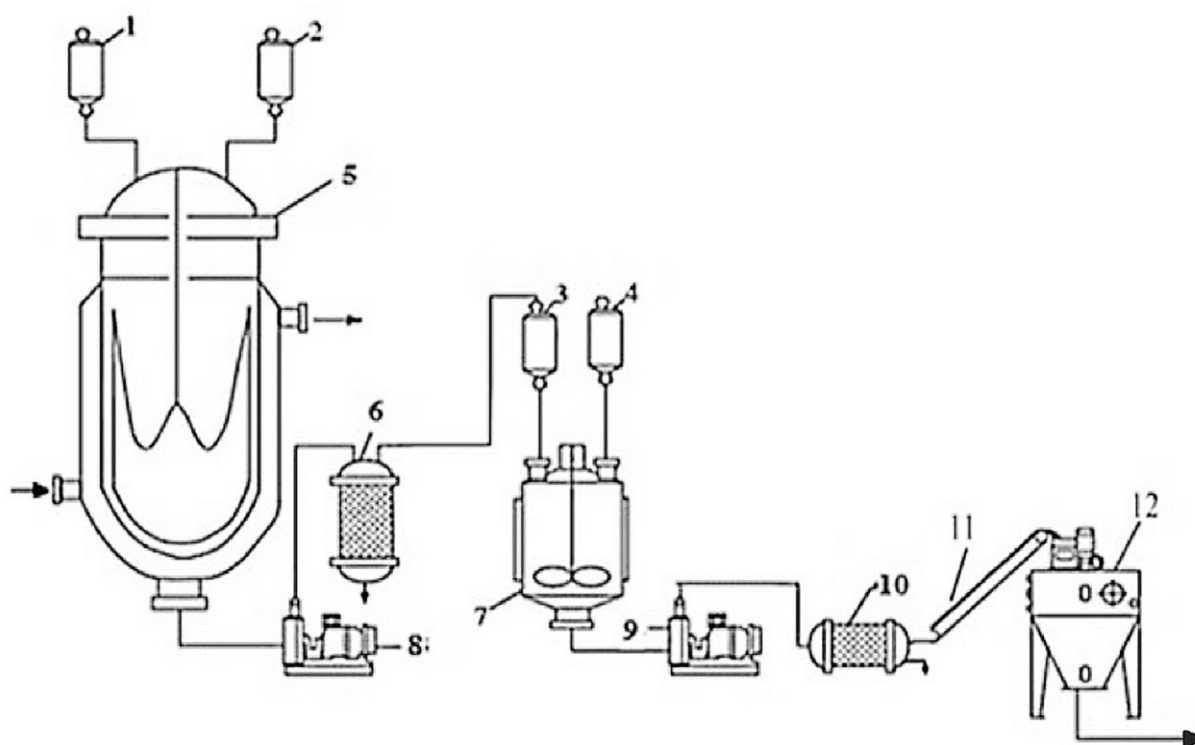


Рис. 10. Принципиальная технологическая схема получения ингибитора коррозии марки PSK-1.

1,2 - емкости для фосфор (V)-хлорида и циануровой кислоты; 3,4 - емкости для полученного продукта; 5,7 - реакторы; 6,10 - фильтры; 8,9 - насосы; 11 - сушилка; 12 - измельчитель.

Реакция протекает с поглощением тепла. Поэтому при проведении реакции рекомендуется поддерживать температуру в диапазоне 90-100°C. В результате взаимодействия двух исходных веществ образуется реакционный продукт и начинает собираться в сосуде 3.

Продукт, полученный в результате реакции, промывают дистиллированной водой и отделяют с помощью 6 фильтров для отделения от примесей. Затем полученный продукт загружают в реактор 7. Смесь в реакторе 7 перемешивают в течение 1 часа при температуре 90 °С, причиной этого является испарение оставшейся воды в процессе промывки, которую собирают в емкости 4. Продолжительность реакции примерно определяется количеством остаточной воды. Полученный продукт выделяется насосами через фильтры и сушится, а образующийся ингибитор коррозии направляется на упаковку. Упакованный продукт используется в качестве ингибитора.

На основе всех результатов исследования была предложена технологическая схема ингибирования, представленная на рисунке 11, для защиты от коррозии, возникающей под воздействием агрессивных компонентов воды, оказывающих разрушающее влияние на металл.

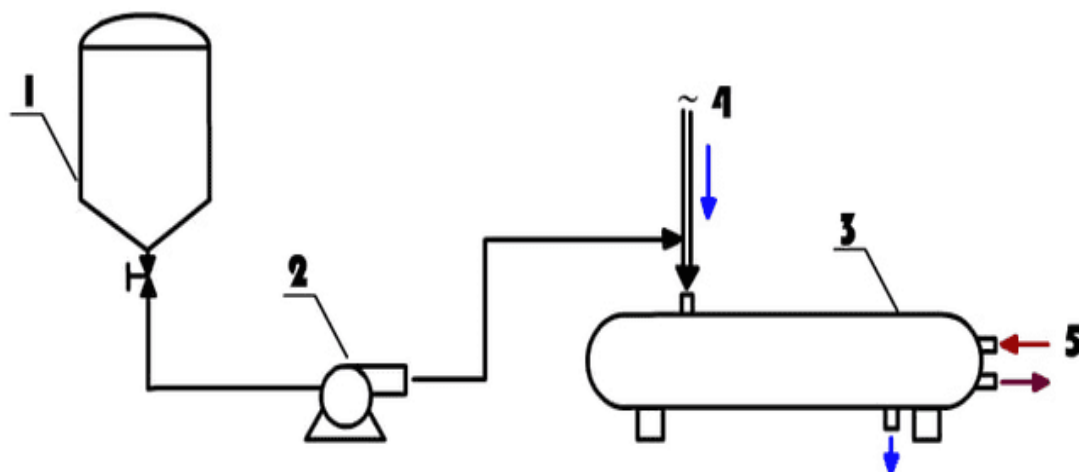


Рис. 11. Технологическая схема ингибирования для защиты от коррозии кожухотрубного теплообменника в процессе абсорбционной очистки газа

1-емкость для ингибитора коррозии PSK-1; 2-насос; 3-теплообменник; I-вода для охлаждения; II-выход охлажденной воды; III-охлаждающий агент; IV-охлажденный агент.

В технологической схеме основным центром коррозии является кожухотрубный теплообменник (3), поэтому в водный охлаждающий агент через диафрагменный насос (2) подается концентрированный ингибитор коррозии PSK-1 (1). В зависимости от состава охлаждающей воды и с учетом объема технологических линий рекомендуется использовать ингибитор коррозии с концентрацией 0,02%.

Стоимость основного сырья для производства 1 тонны ингибитора коррозии PSK-1 приведена в таблице 4.

Таблица 4

Структура стоимости 1 тонны ингибитора коррозии и ингибитора коррозии марки FLOGARD MS6217

№	Наименование	Единица измерения	Количество кг	Цена за единицу, сум	Общая сумма, сум
1	PSK-1	кг	1000	34706,6	34 706 574
Общая сумма					34 706 574
2	FLOGARD MS6217	кг	1000	43 000	43 000 000
Общая сумма					43 000 000

Для производства 1 тонны ингибитора PSK-1 первоначальные затраты на сырьё составляют 34 706 574 сумов только для исходного вещества.

Импортируемый из-за рубежа и используемый в качестве ингибитора коррозии композит FLOGARD MS6217 (Индия) стоит 43 000 000 сумов за 1 тонну, что на 9 952 111,2 сумов дороже.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлены причины коррозии водоохладительного устройства при абсорбционной очистке газа на Муборакском газоперерабатывающем заводе. В результате было доказано, что ингибитор коррозии, содержащий атомы азота и фосфора, обладает высокой эффективностью против различных агрессивных компонентов в оборотной воде, и рекомендовано синтезировать ингибитор с данным составом.

2. Доказано, что оптимальным режимом получения ингибитора коррозии является хлорид фосфора (V) и циануровая кислота в мольном соотношении 1:5, температура 90-100 °С и продолжительность процесса 48 часов.

3. Определены состав и структура синтезированного ингибитора коррозии PSK-1 с помощью ИК-спектроскопии и современным физико-химическим методом, то есть сканирующим электронным микроскопом, а также их ингибирующее значение с помощью атомно-силового микроскопа и квантово-химических методов.

4. Доказана эффективность и конкурентоспособность защиты от коррозии синтезированного ингибитора, которая составила 97,10%, тогда как зарубежного ингибитора коррозии Flogard MS6217 – 92,5%.

5. Установлено, что ингибитор коррозии марки PSK-1 имеет степень защиты в водных условиях 93,6-97,10% и не уступает отечественным и зарубежным ингибиторам NFMFK + Uniflok (степень защиты 95-97 %), Flogard MS6217 (Индия) (степень защиты 92-97 %).

6. В результате теоретических и экспериментальных исследований разработана и рекомендована принципиальная технологическая схема получения нового состава ингибитора коррозии марки PSK-1, а также технологическая схема ингибирования коррозии водоохлаждающей установки в процессе абсорбционной очистки газов.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc. 03/28.02.2022.T.101.01 ON AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT THE BUKHARA ENGINEERING
TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

KARAKALPAK STATE UNIVERSITY NAMED AFTER BERDAKH

DURDUBAEVA ROZA MURATBAEVNA

**TECHNOLOGY FOR OBTAINING AN INHIBITOR TO PROTECT
AGAINST CORROSION OF THE WATER COOLING DEVICE IN THE
GAS ABSORPTION PURIFICATION PROCESS**

02.00.08 – Chemistry and technology of oil and gas

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

Bukhara-2025

The topic of the dissertation for the degree of the Doctor of Philosophy in technical sciences is registered in the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan B2024.4.PhD/T4363.

The dissertation has been carried out at the Karakalpak State University named after Berdakh.

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

Scientific advisor: **Beknazarov Khasan Soyibnazarovich**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Saydakhmedov Shamshidinkhoja Mukhtorovich**
doctor of technical sciences, professor

Igankulova Nargisa Abduvalievna
candidate of chemical sciences, associate
professor

Leading organization: **Karshi State Technical University**

The defense of the dissertation will be held on May 31, 2025 at 9⁰⁰ at the meeting of the Scientific council DSc.03/28.02.2022.T.101.01 at the Bukhara engineering-technological institute (Address: 200117, Bukhara, K.Murtazaev street, 15. Phone: (998 65) 223-78-84, Fax: (998 65) 223-78-84. e-mail: bmti_info@edu.uz).

The dissertation is available at the Information-Resource Center of the Bukhara Engineering - Technological Institute (registration number № 355) (Address: 15, K. Murtazaev street, 200117, Bukhara, Uzbekistan. Phone (99865) 223-78-84).

The abstract of the dissertation is distributed on May 17, 2025 y
Protocol of the distribution №1 from March 24, 2025 y

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

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

Kh.B. Dustov
Chairman of the Scientific Seminar under scientific council on conferment of scientific degree, doctor of technical sciences, professor.

INTRODUCTION (abstract of doctor of philosophy PhD dissertation)

The purpose of research: To develop a technology for obtaining an inhibitor to protect the cooling device from corrosion during gas absorption purification.

Object of the research: The research focuses on the water cooler at Mubarek Gas Processing Plant, steel grade St20, and substances such as phosphorus (V) chloride and cyanuric acid.

The scientific novelty of research:

a new PSK-1 corrosion inhibitor with a unique composition was synthesized based on phosphorus (V) chloride and cyanuric acid, and the kinetics of the synthesis conditions were studied.

based on the kinetics of the synthesis process, the maximum yield of 87,15% was achieved under the conditions of a 1:5 molar ratio of phosphorus (V) chloride to cyanuric acid, a temperature of 90-100 °C, and a duration of 48 hours.

the inhibition mechanism of the synthesized PSK-1 corrosion inhibitor was studied based on kinetic and thermodynamic principles, its inhibition efficiency was evaluated using gravimetric and electrochemical methods, and its surface morphology was analyzed using scanning electron microscopy.

the inhibition efficiency of the PSK-1 corrosion inhibitor on St20 steel samples at 333 K, with an inhibitor concentration ranging from 50 to 200 mg/l, was determined to be 93,6-97,10 %.

the technology for obtaining and applying the PSK-1 corrosion inhibitor to prevent corrosion in the water-cooling system of an absorption gas purification process has been practically substantiated.

Implementation of the research results. Based on the scientific results obtained on the effectiveness of the inhibitor against corrosion of the aqueous cooling device during the absorption cleaning of gases:

The method for synthesizing a new type of corrosion inhibitor based on phosphorus (V) chloride and cyanuric acid was included in the “List of promising developments for implementation in practice in 2021-2025” of the “Muborak Gas Processing” plant (reference document of the “Muborak Gas Processing” plant dated April 8, 2022 No. 110/GK-04). As a result, it allowed to achieve an inhibition level of 80.89-97.76% for samples of steel grade St20 at 333 K with an inhibitor concentration of 50-200 mg/l;

The technology for obtaining a new type of PSK-1 corrosion inhibitor synthesized on the basis of phosphorus (V) chloride was included in the “List of promising developments for implementation in 2022-2025” of Navoi Mining and Metallurgical Combine JSC (Reference No. 23010107/342 of Navoi Mining and Metallurgical Combine JSC dated May 11, 2022). As a result, the synthesized PSK-1 corrosion inhibitor made it possible to protect steel structures from corrosion that pass and store aggressive acidic-salty wastewater generated by acid washing.

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

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

I bo‘lim (I часть; part I)

1. Дурдубаева Р.М., Бекназаров Х. С., Номозов А. К. Оценка эффективности ингибирования коррозии фосфорсодержащего олигомера, // Universum: технические науки. -2021. Часть 1.-С.75-79. (02.00.00., №1).

2. Дурдубаева Р.М., Бекназаров Х.С., Номозов А.К. Синтез 2,4,6-триэтанолимин-1,3,5-триазина и его применение в качестве ингибитора коррозии углеродистой стали в 0,5 М растворе H₂SO₄ // “Science and Innovation” International scientific journal. Volume 1 issue 8. 2022. -С.613-618 (SJIF-4.277, 2022).

3. Durdubaeva R.M., Beknazarov Kh.S. Study of a corrosion inhibitor based on monoetanolamine and phosphorus(v)-chloride // Theoretical and Applied Science. 2022. -С.346-353.

4. Durdubaeva R., Beknazarov H., Asamatdinov A., Yusupova N. Study of steel corrosion inhibition with the use of secondary waste // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Гумилева. 2022. -№1. Volume 138 -P.31-36.

5. Durdubaeva R.M., Beknazarov Kh.S. The Results of the Calculation of the Process and Mechanism of Inhibition of the Compound 2,4,6- Triethanolamine-1,3,5-Triazine in 0.5 M H₂SO₄ Medium Using Thermodynamic and Kinetic Parameters // Eurasian Journal of physics, Chemistry and mathematics. 2022. ISSN: 2795-7667. Volume 13-P.55-60.

6. Durdubaeva R.M., Beknazarov H.S. Monoetanolamin va fosfor (V) xlorid asosida olingan PMA-1 markali korroziya ingibitorining elektrokimyoviy tadqiqoti // Namangan davlat universiteti ilmiy axborotnomasi. 2022-yil 6-son 128-132 b. (02.00.00, №18)

7. Дурдубаева Р.М., Бекназаров Х.С., Пирниязова Н.С. Қурамында фосфор сақлаган PSK-1 олигомердің коррозияның алдын алыу натийжелилигин бақалаў // Бердақ атындагы Карақалпақ мамлекетлик университети Хабаршысы. №2 (60).Нөкис 2023. 68-71-б. (02.00.00., №16)

8. Durdubaeva R.M., Beknazarov Kh.S., Khozhametova B.K. Synthesis of TEITA-1 and its application as a carbon steel corrosion inhibitor in 0.5 m H₂SO₄ solution // Qoraqalpog‘iston Respublikasi Oliy ta‘lim muassasalari olimlarining ilmiy to‘plami. 2024 №3/2. Nukus, Qoraqalpoq davlat universiteti. ISSN 2181-9203. -P.176-180. (05.00.00. №27)

II bo‘lim (II часть; part II)

9. Дурдубаева Р.М., Мамарасулов Б.С., Йулдошев Ш.У. Новый фосфорсодержащий олигомер PSK-1 при ингибировании коррозии углеродистой стали // Всероссийская школа-конференция молодых ученых

«Фундаментальные науки специалисту нового времени» (с международным участием) 26-30 апреля 2021 года, -С. 29-30.

10. Дурдубаева Р.М., Бекназаров Х.С. Исследование ингибирование коррозии олигомерного ингибитора PSK-1 // «Современные электрохимические технологии и оборудование-2021» Материалы международный научно-технической конференции, г. Минск, Республика Беларусь. 18-20 мая 2021 г. -С. 37-40.

11. Дурдубаева Р.М., Бекназаров Х.С. Синтез и исследование ингибитора коррозии на основе моноэтаноламина и цианурхлорида // «Табийий пәнлердин актуал мәселелери» атамасындағы II-халық аралық илимий-теориялық конференция материаллары топламы. 19-май, 2021-жыл. - С.180-183.

12. Durdubaeva R.M., Beknazarov X.S. Sintez i issledovanie fosforsoderjashchego oligomera PSK-1 // «Kimyo texnologiya fanlarining dolzarb muammolari» mavzusidagi Xalqaro olimlar ishtirokidagi respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari. 10-11-mart. Toshkent-2021. 62-63-b.

13. Дурдубаева Р.М., Бекназаров Х.С. Ингибирование коррозии новым фосфорсодержащим олигомером PSK-1 // Қорақалпоғистон республикасида ишлаб чиқариш саноат соҳалари ривожининг долзарб муаммолари» мавзусидаги Республика илмий-амалий анжуман материаллари тўплами. 2021 йил 26 апрель. -С. 168-169.

14. Дурдубаева Р.М., Бекназаров Х. С., Джалилов А. Т. Ингибирование коррозии стали фосфор и азотсодержащим ингибитором коррозии // «Табийий панлердин актуал маселелери» атамасындағы III-халық аралық илимий-теориялық конференция материаллары топламы 12-май, Нокис 2022-жыл. II-болим. -С. 171-174.

15. Durdubaeva R.M., Beknazarov X.S., Djalilov A.T. Determining the inhibitory effect of PMA-1 brand corrosion inhibitor by electrochemical methods // XVII Нумановские чтения «Результаты инновационных исследований в области химических и технических наук в XXI веке» Институт химии им. В.И.Никитина НАНТ. Душанбе 26.10.2022. -Р.144-147.

16. Дурдубаева Р.М., Бекназаров Х.С., Джалилов А.Т. Исследование ингибирующих свойств кислотного ингибитора коррозии PMA-1 // Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции «Инновационные технологии переработки минерального и техногенного сырья химической, металлургической, нефтехимической отраслей и производства строительных материалов» 12-14-мая Ташкент 2022. -С. 407-409.

17. Дурдубаева Р.М., Бекназаров Х.С. Исследование ингибирующих свойств PMA-1 электрохимическим методом // “Fan va ishlab chiqarish integratsiyalashuvi sharoitida kimyo texnologiya, kimyo va oziq –ovqat sanoatidagi muammolar va ularni bartaraf etish yo‘llari” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy konferensiya materiallari toplami II qism. 2022-yil 3-4-iyun. Namangan 2022. -С.189-192.

18. Дурдубаева Р.М. Хайитбоев О. М. Исследование ингибирующих свойств кислотного ингибитора коррозии MSK-2//«Саноат технологияларида инновацион ечимлар» мавзусидаги II-республика илмий-амалий анжуман материаллари тўплами. 5-апрель 2024 Нукус. -С. 242-244.

19. Дурдубаева Р.М. Хайитбоев О.М. Исследование ингибирования коррозии олигомерного ингибитора PSK-1 // «Саноат технологияларида инновацион ечимлар» мавзусидаги II-республика илмий-амалий анжуман материаллари тўплами. 5-апрель 2024 Нукус. -С.218-219.

20. Дурдубаева Р.М., Абдикамалов Д.Х., Хайитбоев О.М. Фосфор содержащий олигомер PSK-1 при ингибировании коррозии углеродистой стали // «Саноат технологияларида инновацион ечимлар» мавзусидаги II-республика илмий-амалий анжуман материаллари тўплами. 5-апрель 2024 Нукус. -С. 216-217.

21. Durdubaeva R.M., Abdikamalov D.X., Pirniyazova N.S. Fosfor (V) xlorid hám siyanur kislota tiykarında alingan ingibitorning korroziyaning aldın alıw natıyjeliligini úyreniw // «Саноат технологияларида инновацион ечимлар» мавзусидаги II-республика илмий-амалий анжуман материаллари тўплами. 5-апрель 2024 Нукус, 18-19 б.

22. Durdubaeva R.M. PSK-1 markalı ingibitorning korroziyaning aldın alıw natıyjeliligini bahalaw // «Табийий панлердин актуал маселелери» атамасындагы V-халык аралык илимий-теориялык конференция материаллары топламы 16-май, Нокис 2024-жыл. II-болим, 625-629 б.

23. Durdubaeva R.M., Beknazarov Kh.S., Khozhametova B.K. Study of corrosion inhibitor based on monoethanolamine and cyanurichloride // Материалы III Международной Научно-технической конференции Молодежь и инновации – будущее нефтегазовой отрасли. Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. 14-15 октября Ташкент. -Р. 2024. 111-113.

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

Bosishga ruxsat etildi: 14.05.2025 Bichimi: 60x84 1/16.
“Times New Roman” garniturada raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog‘i: 3. Adadi 100. Buyurtma № 116.
Guvohnoma AI №178.08.12.2010

“Sadriiddin Salim Buxoriy” MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.
Buxoro shahri, M. Iqbol ko‘chasi, 11-uy. Tel.: 65 221-26-45

