

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

---

**BUXORO DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**G'AFUROVA GULNOZ ALIXONOVNA**

**GUANIDIN HOSILASI ASOSIDAGI INGIBITOR SINTEZI,  
TEXNOLOGIYASI VA METALLARGA ADSORBSIYASINING TADQIQI**

**02.00.11 – Kolloid va membrana kimyosi**

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

**Buxoro – 2025**

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

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

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

**G‘afurova Gulnoz Alixonovna**

Guanidin hosilasi asosidagi ingibitor sintezi, texnologiyasi  
va metallarga adsorbsiyasining tadqiqi.....3

**Гафурова Гулноз Алихоновна**

Синтез, технология и исследование адсорбции ингибиторов на основе  
производных гуанидина на металлах .....21

**Gafurova Gulnoz**

Synthesis, technology, and study of adsorption of guanidine derivative-based  
inhibitors on metals.....41

**E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati**

Список опубликованных работ  
List of published works.....44

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

---

**BUXORO DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**G'AFUROVA GULNOZ ALIXONOVNA**

**GUANIDIN HOSILASI ASOSIDAGI INGIBITOR SINTEZI,  
TEXNOLOGIYASI VA METALLARGA ADSORBSIYASINING TADQIQI**

**02.00.11 – Kolloid va membrana kimyosi**

**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 B2025.2.PhD/T4591 raqam bilan ro‘yxatga olingan.**

Doktorlik dissertatsiyasi Buxoro davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida ([www.bstu.uz](http://www.bstu.uz)) hamda «Ziyonet» Axborot – ta’lim portalida ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:**

**Olimov Bobir Bahodirovich**

texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent

**Rasmiy opponentlar:**

**Bozorov G‘ayrat Rashidovich**

texnika fanlari doktori, professor

**Sanetullayev Yernazar Yesbosinovich**

texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent

**Yetakchi tashkilot:**

**Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Buxoro davlat texnika universiteti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.03/28.02.2022. T.101.01 raqamli Ilmiy kengashining 2025 yil 4-dekabr soat 11<sup>00</sup> 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](mailto:bmti_info@edu.uz))).

Dissertatsiya bilan Buxoro davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (400 raqami bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 200117, Buxoro shahar, Q. Murtazoyev ko‘chasi, 15-uy. Tel.: (99865)223-78-84.)

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil 19-noyabr kuni tarqatildi.

(2025-yil 20-avgustdagi № 12 raqamli reestr bayonnomasi).



## **KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)**

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Dunyoda bugungi kunda nozik organik sintez mahsulotlari, ayniqsa, turli funksional guruhlar va donor atomlarni o'z ichiga olgan organik birikmalar xalq xo'jaligining turli tarmoqlarida, jumladan, qishloq xo'jaligi, farmasevtika, kimyo sanoati, to'qimachilik, lok-bo'yoq hamda neft-gaz kimyosi sohalarida keng qo'llanilmoqda. Shu sababli bunday birikmalar sinteziga ta'sir etuvchi turli tabiatli katalizatorlar, organik erituvchilar va ularning aralashmalarini o'rganish hamda ular asosida muhim kimyoviy komponentlarni sintez qilish muhim ahamiyatga ega.

Jahonda zamonaviy kimyo sanoatining jadal rivojlanishi neft va gazni qazib olish, tashish va qayta ishlash jarayonlarida qo'llaniladigan metall konstruksiyalarning agressiv muhit ta'sirida korroziyaga uchrash ehtimolini oshirishi, bu jarayonlarda ishqoriy, kislotali va tuzli eritmalar yuqori namlik, yuqori bosim hamda yuqori harorat kabi omillar metallarning tezkor yemirilishiga sabab bo'lishi, buning natijasida ishlab chiqarishning to'xtashi, jihozlarning tez eskirishi va iqtisodiy zararlarni yuzaga keltirishiga oid ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu yo'nalishda korroziyani samarali nazorat qilish maqsadida korroziya jarayonini sekinlashtiruvchi va to'xtatuvchi moddalardan foydalanishga yo'naltirilgan bo'lib, ularning ichida korroziya ingibitorlarining o'rni alohida ahamiyatga ega bo'lib, yuqori samaradorlikka ega, ekologik xavfsiz va iqtisodiy jihatdan qulay korroziya ingibitorlarini ishlab chiqish, ularni sanoat miqyosida qo'llash va import o'rnini bosuvchi yangi avlod mahsulotlarni yaratish, shuningdek, korroziya ingibitorlarini yaratishda tabiiy resurslarga asoslanish (o'simlik moylari, tabiiy alkaloidlar, organik qoldiqlar) import o'rnini bosish bilan birga ekologik toza, barqaror manbaga ega samarali moddalarning ishlab chiqarilishiga alohida e'tibor berilmoqda.

Respublikamizda mahalliy xomashyolar va sanoat ikkilamchi mahsulotlari asosida belgilangan xossalari organik moddalar hamda samarali korroziya ingibitorlar ishlab chiqishda ma'lum ilmiy va amaliy natijalarga erishilmoqda. O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasida "Mahalliy xomashyo resurslarini chuqur qayta ishlash asosida, yuqori qo'shimcha qiymatli tayyor mahsulot ishlab chiqarishni yanada jadallashtirish, sifat jihatdan yangi mahsulotlar olish texnologiyalarini o'zlashtirish va takomillashtirish" bo'yicha amalga oshiriladigan muhim vazifalar va bajariladigan tizimli ishlar belgilab berilgan. Bu borada metall buyumlari korroziyasini oldini oladigan oligomer tipdagi kompozit birikmalar olish bo'yicha amaliy izlanishlar olib borilgan. Bu esa sanoat chiqindilari asosida yangi tipdagi ingibitor birikmalar olish texnologiyalarini ishlab chiqish hamda amaliyotga joriy etishda muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi

to'g'risida"<sup>1</sup>gi, PF-60-son Farmoni, 2021-yil 9-iyundagi PF-6244-son, "Hududlarning sanoat salohiyatini oshirishga doir qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"<sup>1</sup>gi, 2020-yil 12-avgustdagi PQ-4805-son "Kimyo va biologiya yo'nalishlarida uzluksiz ta'lim sifatini va ilm-fan natijadorligini oshirish chora-tadbirlari to'g'risida"<sup>1</sup>gi Farmon va qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqot natijalari muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi.** Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining VII. «Kimyo texnologiyalar va nanotexnologiyalar»; XII «Organik, noorganik, polimer va boshqa tabiiy materiallarni olish texnologiyasi» ustuvor yo'nalishlariga muvofiq bajarilgan.

**Muammoning o'rganilganlik darajasi.** Dunyoda guanidin hosilalari asosida olingan belgilangan xossalari organik moddalar turli sanoat sohalarida metallar korroziyasini oldini oluvchi, ingibirlovchi moddalarning sintezi va xossalarini o'rganish bo'yicha quyidagi xorijiy olimlar E.E.Oguzie, M.S.Hussain, M.R.Jakeria, M.A.Fazal, R.Khan, A.E.Somers, A.A.Anisimov, A.V.Arzumanyan, Y.N.Kononevich, M.N.Temnikov, O.G.Sinyashin, Y.H.Budnikova, A.A.Karasik, V.F.Mironov, P.A.Storojenko, G.I.Shcherbakova, B.A.Trofimov, Y.I.Kuznetsov, S.M.Reshetnikov, A.G.Akimov, Y.M.Kolotirkin, V.P.Batrakova, P.S. Faxretdinov, V.I.Vigdorovich, N.V.Shel, L.Y.Sigankova, M.Xani, S.N.Stepin, O.P.Kuznetsova, P.V.Strekalov va boshqalar, respublikamizda esa R.S.Tillayev, T.D.Siganov, F.K.Kurbanov, A.T.Djalilov, A.Ikramov, D.Yusupov, Z.B.Tadjixodjayev, X.I.Akbarov, H.S.Beknazarov, H.Qodirov, N.B.Eshmamatova, A.J.Xoliqov va boshqalar keng miqyosidagi ilmiy-tadqiqot ishlarini olib borishgan.

Yuqoridagi olimlar tomonidan kimyo va neft-gaz sanoatida mavjud metallar korroziyasi muammolarini hal qilishda, ingibirlovchi moddalarni sintez qilish bo'yicha ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilgan. Shuningdek, o'zlarining samarali ilmiy faoliyatlari orqali polifunksional ingibitorlarni yaratish va ularning ta'sir mexanizmini o'rganish bo'yicha muhim ilmiy-amaliy yutuqlarga erishilgan.

Ammo, guanidin va guanidin hosilalarini ishlab chiqarilishi bugungi kunda bir qator mahalliy xomashyolarni qayta ishlashning eng samarali texnologiyasi bo'lib hisoblanadi. So'nggi yillarda tabiiy, neft va yo'ldosh gazlarni qayta ishlash bu texnologiya rivojiga ancha ijobiy natijalarni ko'rsatmoqda. Mahalliy xomashyo bazasi asosida guanidin hosilalarini ishlab chiqarish bir qator belgilangan xossalari moddalarni sintezlash imkonini beradi. Shu bilan birga, guanidin hosilalari va ular asosida olingan oligomer hamda polimerlarning kimyo sanoatida qo'llashning barcha imkoniyatlari hali yetarlicha o'rganilmagan.

**Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.**

Dissertatsiya tadqiqoti Buxoro davlat texnika universitetining ilmiy-tadqiqot

---

<sup>1</sup> O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"<sup>1</sup>gi, PF-60-son Farmoni

ishlari rejalariga muvofiq “Tabiiy gaz tarkibiga qo‘shiluvchi odorant moddasini ishlab chiqarish texnologiyasini yo‘lga qo‘yish” mavzusidagi 18-18/2021-sonli xo‘jalik shartnomasi (2021-2024yy.) doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** guanidin hosilasi asosidagi ingibitor sintezi, texnologiyasi va metallarga adsorbsiyasini asoslashdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari** quyidagilardan iborat:

guanidin hosilasi, metanal va akril kislota asosida korroziya ingibitori sintezining optimal sharoitlarini aniqlash;

sintezlangan korroziya ingibitoridagi turli xil organik funksional guruhlarining ingibirlash xususiyatlarini tadqiq etish va uning metall sirtida adsorbsiyalanishining kolloid-kimyoviy mexanizmini ilmiy asoslash;

ingibirlash jarayoni Gibbs energiyasi, entropiyasi, entalpiyasi va adsorbsiya izotermalarini tahlil qilib, jarayon mexanizmini aniqlash;

ingibitorning korrozion tezligi, himoyalash koeffitsiyenti va tormozlanish koeffitsiyentini, bosimga, haroratga, agressiv muhitning pH qiymatiga, ingibitor tarkibiga hamda konsentratsiyasiga bog‘liqligini aniqlash;

belgilangan xosssali korroziya ingibitorlarni sintez jarayoni texnologiyasi ishlab chiqish va ingibitorlarni amaliyotga tadbiq etish hamda iqtisodiy samaradorligini baholash.

**Tadqiqotning obyekti** sifatida guanidin rodanid, xlorid kislota, metanal, akril kislota, turli noorganik katalizatorlar va erituvchilar olingan.

**Tadqiqotning predmeti** sifatida guanidin va mahalliy xomashyolar asosidagi tarkibida donor atomlar saqlovchi ingibitor sintezining optimal sharoitlarini o‘rganish, sintezlangan ingibirlovchi moddaning turli agressiv muhitlarda, bosim, harorat va ingibirlovchi moddaning konsentratsiyasiga bog‘liq ravishda himoyalovchi xususiyatlarini hamda metall yuzasida amalga oshadigan fizik-kimyoviy adsorbsiya qonuniyatlarini ilmiy asoslash hisoblanadi.

**Tadqiqotning usullari.** Dissertatsiya ishini bajarishda sintezlangan ingibitorning tuzilishini va tarkibidagi funksional guruhlarini aniqlash maqsadida kvant-kimyoviy tadqiqot usuli, infraqizil spektroskopiya (IQ-spektroskopiya) va mass-spektrometriya, ingibitorning metall yuzasida kompleks hosil qilganligini tadqiq etishda skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM), shuningdek, gravimetrik tahlildan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

akril kislota, metanal, guanidin va uning rodanidli tuzi asosida yangi tarkibli korroziya ingibitori sintezlangan va turli optimal muhitlar tanlanib, jarayon uchun 75°C da reaksiya unumi 86,5% ga erishishi ilmiy asoslangan;

sintezlangan korroziya ingibitor uchun Gibbs energiyasi hisoblanib,  $G = -21,86$  va  $-22,41$  kJ/mol ekanligi aniqlanib, korroziya ingibitorining metall yuzasidagi adsorbsiyasi o‘z-o‘zidan sodir bo‘lishi ilmiy isbotlangan;

sintezlangan ingibitorning adsorbsiyalanish jarayonida konsentratsiyasi 100-300 mg/l gacha oshirilganda korrozoyaning aktivlanish energiyasi 36,84 kJ/mol dan 52,13 kJ/molga oshganligi isbotlangan;

korroziya tezligi 0,096 mm/yil, himoyalalanish darajasi 93,3%, sirtini to‘la

qoplash darajasi 0,933 va tormozlash koeffitsiyenti 15 ekanligi gravimetrik usulda ilmiy isbotlangan;

guanidin hosilasi asosida GXMA (guanidinxlridometilakrilat) korroziya ingibitorning olinish prinsipial texnologik sxemasi yaratilgan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

akril kislota, metanal, guanidin va uning rodanidli tuzi asosida yangi tarkibli korroziya ingibitori sintezlangan va bunda 75°C da reaksiya unumi 86,5% atrofida ekanligi aniqlangan;

guanidinxlrid, metanal va akril kislota asosida asosida sintez qilingan korroziya ingibitorning sifat va miqdor tarkiblari hamda tuzilishi zamonaviy fizik-kimyoviy tadqiqot usullari bilan aniqlangan;

korroziya ingibitorning ingibirlash xossasi va metall yuzasiga qoplanish darajasi gravimetrik usul asosida o'rganib chiqilgan. Olingan natijalar asosida korroziyalanish jarayonining kinetik parametrlari (Aktivlanish energiyasi, Gibbs energiyalari) hamda po'lat yuzasiga adsorbsiyalanish jarayonining izotermalari va termodinamik parametrlari hisoblab chiqilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Olingan korroziya ingibitorning tuzilishi, fizik-kimyoviy xossalari va samaradorligini aniqlashda xromato-mass spektrometriya, IQ-spektroskopiya, krioskopiya, skanerlovchi elektron mikroskop, gravimetrik va kvant kimyoviy kabi zamonaviy fizik-kimyoviy usullari asosida olingan natijalar orqali isbotlanganligi, ingibitorning po'lat yuzasiga adsorbsiyasi izotermalari, korroziya jarayoni termodinamikasi, aktivlanish energiyasi asosida ingibitorning himoyalash xossasi va qoplanish darajalari o'rganilgan, laboratoriya sharoitida va ishlab chiqarish korxonalarida o'tkazilgan amaliy natijalarining ilmiy natijalar bilan o'zaro mutanosibliigi hamda ishlab chiqarishga joriy etilganligi bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqotning ilmiy ahamiyati guandinxlrid, metanal va akril kislota asosida korroziya ingibitori sintez qilinganligi, sintez kinetikasi, fizik-kimyoviy xususiyatlari, ingibitorning metall yuzasiga adsorbsiyalanishining mexanizmi, adsorbsiya jarayonining izotermalari va ingibirlash jarayonlarining bir qator termodinamik parametrlarining aniqlanganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati, akril kislota, metanal, guanidin va uning rodanidli tuzi asosida yangi tarkibli korroziya ingibitori sintezlangan va bunda 75°C da reaksiya unumi 86,5% atrofida ekanligi aniqlanganligi, guanidinxlrid, metanal va akril kislota asosida asosida sintez qilingan korroziya ingibitorning sifat va miqdor tarkiblari va tuzilishi zamonaviy fizik-kimyoviy tadqiqot usullari bilan aniqlanganligi, korroziya ingibitorning ingibirlash xossasi va metall yuzasiga qoplanish darajasi gravimetrik usul asosida o'rganib chiqilganligi, olingan natijalar asosida korroziyalanish jarayonining kinetik parametrlari (Aktivlanish energiyasi, Gibbs energiyalari) hamda po'lat yuzasiga adsorbsiyalanish jarayonining izotermalari va termodinamik parametrlari hisoblab chiqilganligiga xizmat qiladi.

**Tadqiqot natijalarini joriy qilinishi.** Guanidin hosilasi asosidagi ingibitor

sintezi, texnologiyasi va metallarga adsorbsiyasining tadqiqi bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

guanidinloridometilakrilat tarkibli korroziya ingibitori "Olot neft va gaz qidiruv ekspeditsiyasi" MChJ ning "2025-2030-yillarda amaliyotga joriy qilish bo'yicha istiqbolli ishlanmalar ro'yxati"ga kiritilgan (Olot neft va gaz qidiruv ekspeditsiyasi" MChJ ning 2025-yil 31-yanvardagi №56-son ma'lumotnomasi). Natijada, ingibitor qo'llanilganda suv-neft emulsiyalarida ingibitorning adsorbsiyalanishi aralash mexanizmda amalga oshib, korroziyadan himoyalash samaradorligini St20 po'lat namunasi uchun 93,4% ni, 09G2S markalisi uchun esa 93,2% gacha oshirish imkonini beradi;

tarkibida donor atomlari bo'lgan ingibitorlar "Muborak neft va gaz qazib chiqarish boshqarmasi" MChJ ning "2025-2030-yillarda amaliyotga joriy qilish bo'yicha istiqbolli ishlanmalar ro'yxati"ga kiritilgan. ("Muborak neft va gaz qazib chiqarish boshqarmasi" MChJ ning 2025-yil 14-iyuldagi Po1/TB-2762 son ma'lumotnomasi). Natijada, guanidinloridometilakrilat korroziya ingibitorining St20 va St3 markali po'latlarda o'rtacha himoyalash darajasi 93,3% gacha oshirish imkonini beradi.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Mazkur tadqiqot natijalari 8 ta, jumladan 5 ta xalqaro va 3 ta respublika miqyosidagi ilmiy amaliy anjumanlarda muhokamadan o'tkazilgan.

**Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi.** Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 17 ta ilmiy ish chop etilgan bo'lib, shulardan 1 ta O'zR Adliya vazirligi guvohnomasi (DGU) va O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 8 ta maqola, jumladan 2 tasi respublika, 6 tasi xorijiy jurnallarda nashr etilgan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, umumiy xulosalar, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 113 betni tashkil qiladi.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

**Kirish** qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyligi, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, shuningdek obykti va predmetlari tavsiflangan, Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati yoritilgan, natijalarni amaliyotga joriy qilish, nashr etilgan ilmiy ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

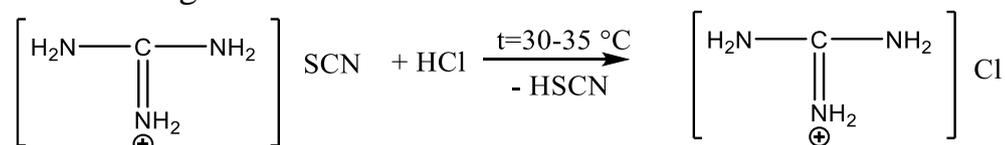
Dissertatsiyaning "**Guanidin, uning hosilalari kimyosi va texnologiyasining hozirgi zamon holati**" deb nomlangan birinchi bobida tarkibida donor atomlar saqllovchi moddalar sintezi kimyosining rivojlanish tendensiyasi, guanidin hosilalari asosida, samarali korroziya ingibitorlarini yaratish sohasidagi tadqiqotlarning rivojlanish istiqbollari va zamonaviy holati hamda metallar uchun agressiv muhitlar va ularda qo'llaniladigan korroziya ingibitorlari

to'g'risidagi ma'lumotlar keltirilib tahlil qilingan.

Dissertatsiyaning **“Guanidin asosida belgilangan xossalari birikmalarning olinishi va ulardan foydalanishda tadqiqot usullari”** deb nomlangan ikkinchi bobida esa tadqiqot uchun tanlangan moddalarning fizik-kimyoviy ko'rsatkichlari va sintez usullari asoslangan, guanidin rodaniddan guanidinxlorid olish va uni metanal va akril kislota bilan birikish jarayoni usullari, sintez qilingan birikmalarning tarkibini analiz qilish bilan bir qatorda tajriba uslubiyoti keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Korroziya ingibitorining sintezi, xossalari va uning adsorbsion xususiyati kolloid kimyoviy tadqiqi”** deb nomlangan uchinchi bobi 2 ta paragrafdan iborat bo'lib, guanidin hosilalari (guanidin rodanid, guanidin xlorid) akril kislota va metanal asosida yangi tarkibli korroziya ingibitori olingan va sintezning optimal muhiti ilmiy asoslangan. Sintezlangan korroziya ingibitor tarkibidagi funksional guruhlar va ularning fizik-kimyoviy xossalari va donor atomlar ishtirokida metall yuzasida amalga oshadigan fizik-kimyoviy adsorbsiya mexanizmi ilmiy asoslangan va adsorbsiya izotermalari aniqlangan. Sintezlangan ingibitorning adsorbsiyalanish jarayonidagi aktivlanish energiyalari, Gibbs energiyalari, entalpiya va entropiyalari aniqlangan. Korroziyadan keyingi metall namunalari skanerlovchi elektron mikroskop orqali olingan mikrofotoqrafiyalar asosida ingibirlangan po'lat sirtining morfologik o'zgarishlari ko'rsatib tahlil qilingan. Korroziya ingibitorning eritma konsentratsiyasiga bog'liq holda korroziya tezligi, himoyalanih va sirtini to'la qoplash darajasi, tormozlash koeffitsiyentlari gravimetrik usulda aniqlangan.

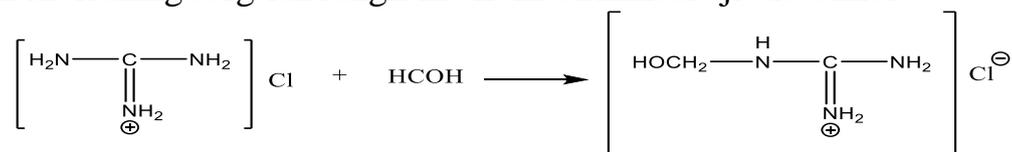
Guanidin, metanal va akril kislota asosida sintezni amalga oshirishda haroratning ta'siri o'rganib chiqildi. Quyida jarayonlarning ketma-ketlik reaksiya tenglamalari keltirilgan.



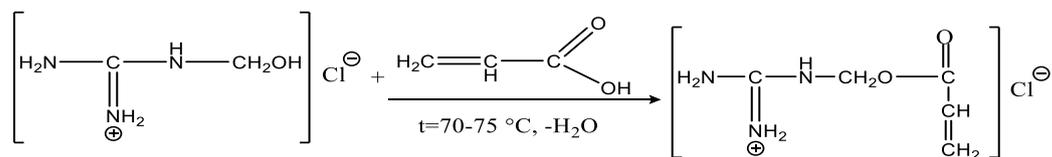
Guanidin rodaniddan guanidinxlorid hosil qilish uchun reaksiya harorati 30-35 °C da olib borildi.



Ajratib olingan guanidin xlorid 500 millilitrli uch bo'g'izli kolbada metanal eritmasi bilan 1:1 mol nisbatda aralashtirilib 50-60 °C da qizdirildi. Bunda guanidin xloridning sarg'ish rangli metilolli birikmasi ajratib olindi.



Sintezlangan guanidin xloridning metilolli birikmasi ajratib olinib, keyingi bosqichda akril kislota bilan ta'sirlashtirildi. GXMA ning hosil bo'lish reaksiya tenglamasini quyidagicha ifodalasak bo'ladi:



Bunda reaksiya unumi 70-75°C oralig'ida eng maksimal 86,5% tashkil etdi (1- jadval).

### 1-jadval

#### GXMA ning hosil bo'lish unumining haroratga bog'liqligi

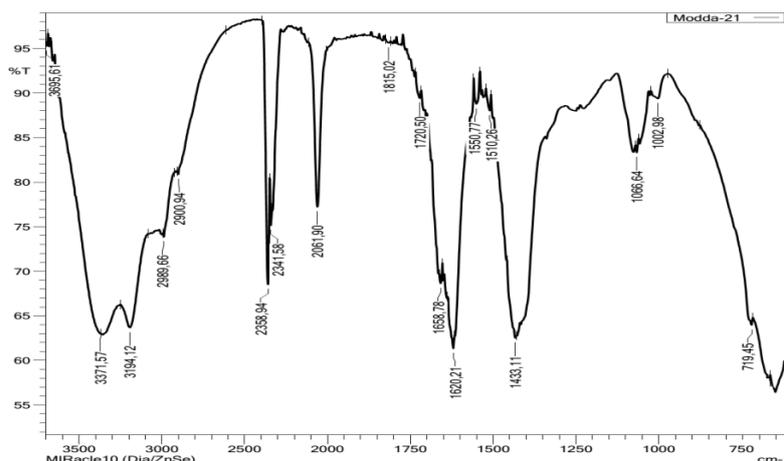
T/r	Reaksiya olib borilgan harorat, °C	Reaksiya unumi, %
1	35	48,2
2	48	50,3
3	55	58,6
4	60	75,8
5	70	83,8
6	75	86,5
7	80	81,3

Reksion aralashmaning harorati ko'tarilgan vaqtda reaksiya unumi sezilarli kamayib ketadi. Buning asosiy sababi shundaki, akril kislotaning metilol guruh bilan reaksiyasi kamayib teskari ya'ni deeterifikatsiya reaksiyasi amalga oshadi. Reaksiyaning tezligini oshirish maqsadida katalizator sifatida konsentrlangan (96%) sulfat kislota qollanildi. 1:1 nisbatda olingan GXMM va akril kislota aralashmasiga 5 ml konsentrlangan sulfat kislota solindi hamda 70-75°C oralig'ida qizdirildi. Reaksiya natijasida esa GXMA hosil bo'lganligi eritmada quyuqroq massa hosil bo'lganligi dalolat berdi. Ushbu moddaning hosil bo'lishi turli xil fizik-kimyoviy tadqiqot usullari yordamida aniqlandi va tegishli xulosalar chiqarildi.

Quyida keltirilgan 1-rasmdan ko'rinib turibdiki, 3371,57  $\text{sm}^{-1}$ , 3194,12  $\text{sm}^{-1}$ , 2989,66  $\text{sm}^{-1}$ , 2358,94  $\text{sm}^{-1}$ , 2061,90  $\text{sm}^{-1}$ , 1720,50  $\text{sm}^{-1}$ , 1658,78  $\text{sm}^{-1}$ , 1620,21  $\text{sm}^{-1}$  va 1433,11  $\text{sm}^{-1}$  chastota sohaslarida xarakterli yutilish chiziqlari aniqlangan. 3371,57  $\text{sm}^{-1}$  chastota sohasidagi yutilish  $-\text{C}=\text{NH}$  (imin guruh) uchun xarakterli bo'lib, ushbu guruhning mavjudligini tasdiqlaydi. 3194,12  $\text{sm}^{-1}$  chastota sohasida esa  $-\text{NH}_2$  (amin guruh) uchun xos bo'lgan valent tebranishlar kuzatiladi. 2358,94  $\text{sm}^{-1}$  sohadagi tebranishlar ( $-\text{C}=\text{NH}^+$ ) guruhiga xos bo'lib hisoblanadi. Guanidinxlordning IQ spektridagi farqli yana bir yutilish chastota 2061,90  $\text{sm}^{-1}$  chastota sohasidagi yutilishlar ( $-\text{C}=\text{C}-$ )guruhiga xos chastota ekanligini, bu esa modda tarkibida akril kislota qoldig'ida uchraydigan to'yinmagan guruh mavjudligini tasdiqlaydi. 1433,11  $\text{sm}^{-1}$  sohada esa (HC-CO-O-) guruh bog'ining (C-H) tebranishlarni kuzatish mumkin. Bu esa bu yerda murakkab efir hosil bo'lganligini anglatadi. 1658,78  $\text{sm}^{-1}$  chastotada esa  $-\text{C}=\text{O}$  (karbonil) guruhining valent tebranishlari aniqlanadi. Shu bilan birga, 1625  $\text{sm}^{-1}$  dan 1725  $\text{sm}^{-1}$  oralig'ida kuzatilgan yutilishlar, jumladan 1720,50  $\text{sm}^{-1}$  chastotadagi intensiv chiziq guanidin molekulasidagi  $-\text{C}=\text{N}$  guruhining valent tebranishlariga mos keladi. 1066,64  $\text{sm}^{-1}$  sohada esa ( $-\text{NH}-\text{CH}_2-$ ) bog'lanishiga

xos bo'lgan xarakterli tebranishlar kuzatilgan. Ushbu natija esa metanalning guanidinning -NH<sub>2</sub> guruhi bilan bog'langanligini isbotlaydi.

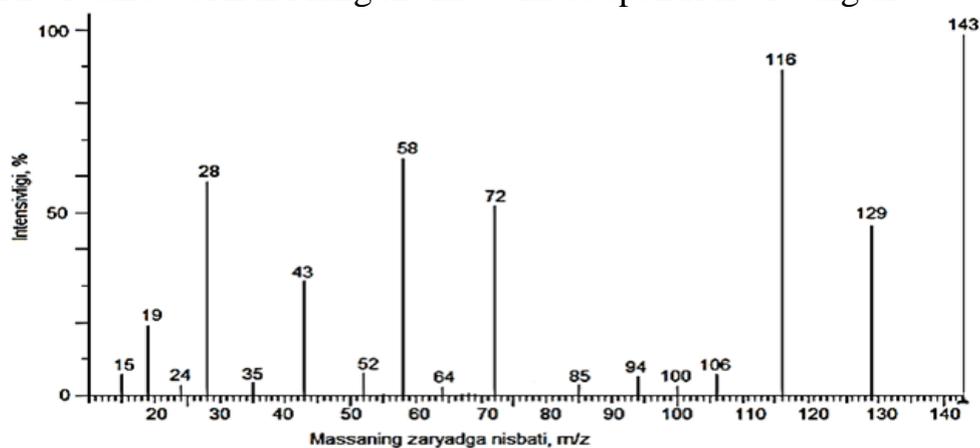
SHIMADZU



### 1-rasm. Sintezlangan GXMA moddasining infraqizil spektroskopiya tahlili

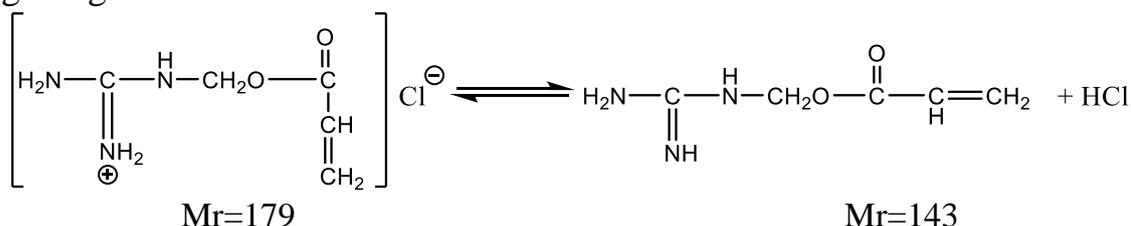
Yuqorida ko'rsatilgan FTIR (Fourier-transform infrared spectroscopy) yutilish spektrining tavsifiy natijalari sintez qilingan mahsulotning GXMA (guanidin molekulasi asosida hosil bo'lgan mahsulot) ekanligini ilmiy jihatdan isbotlaydi. Bu yutilish chiziqlari molekulaning turli funksional guruhlarini tasdiqlaydi va sintez jarayonida ushbu guruhlarining shakllanishi sodir bo'lganligini aniq ko'rsatib beradi.

Guanidin xlorididan foydalanib olingan guanidinoxloridometilakrilatining tuzilishini to'liqroq isbotlash maqsadida uning ham xromato-mass spektri olindi. Quyidagi 2– rasmda GXMA ning xromato-mass spektri ko'rsatilgan.

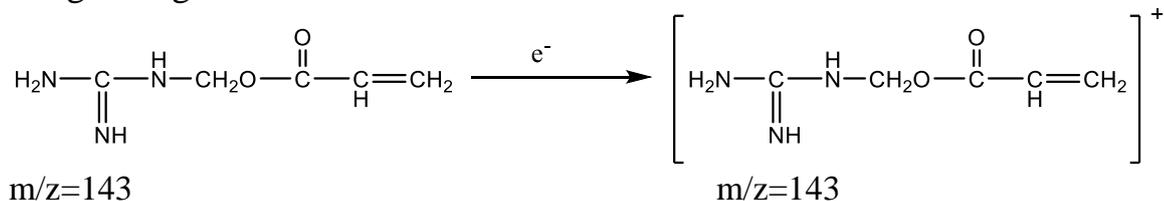


### 2-rasm. GXMANing xromato-mass spektri

GXMA ning xromato-mass spektrdagi cho'qqilarda berilgan 100% lik intensivlik bu 143 massaga mos kelyapti. Bu GXMA ning guanidinometil akrilat ioniga to'g'ri keladi.



Bu asosiy molekula (yoki uning zaryadlangan shakli) va uning ajralishi eng yuqori intensivlikka ega. Bu birinchi ajralishdir va molekula tuzilmasining asosiy qismini ifodalaydi.  $M/z = 143$  molekula uchun maksimal intensivlik bo‘lib, uni olingan fragment sifatida tan olish mumkin.



Ushbu keltirilgan mass-spektrometrik ma’lumotlarni tahlil qilish, fragmentatsiya jarayonini va molekula strukturasi yaxshiroq tushunishga yordam beradi. Mass-spektrometriya tahlilidan ko‘rinib turibdiki, asosiy molekula ( $\text{C}_5 \text{H}_9 \text{N}_3 \text{O}_2^+$ ) 100% intensivlikda ajraladi, va keyingi fragmentlar (129, 116, va 72  $m/z$ ) bir necha reaksiya mexanizmlari asosida yuzaga keladi. Quyidagi 2-jadvalda GXMA ning xromato-mass spektrdagi turli ionlar va ularning nisbiy intensivliklari keltirilgan:

## 2-jadval

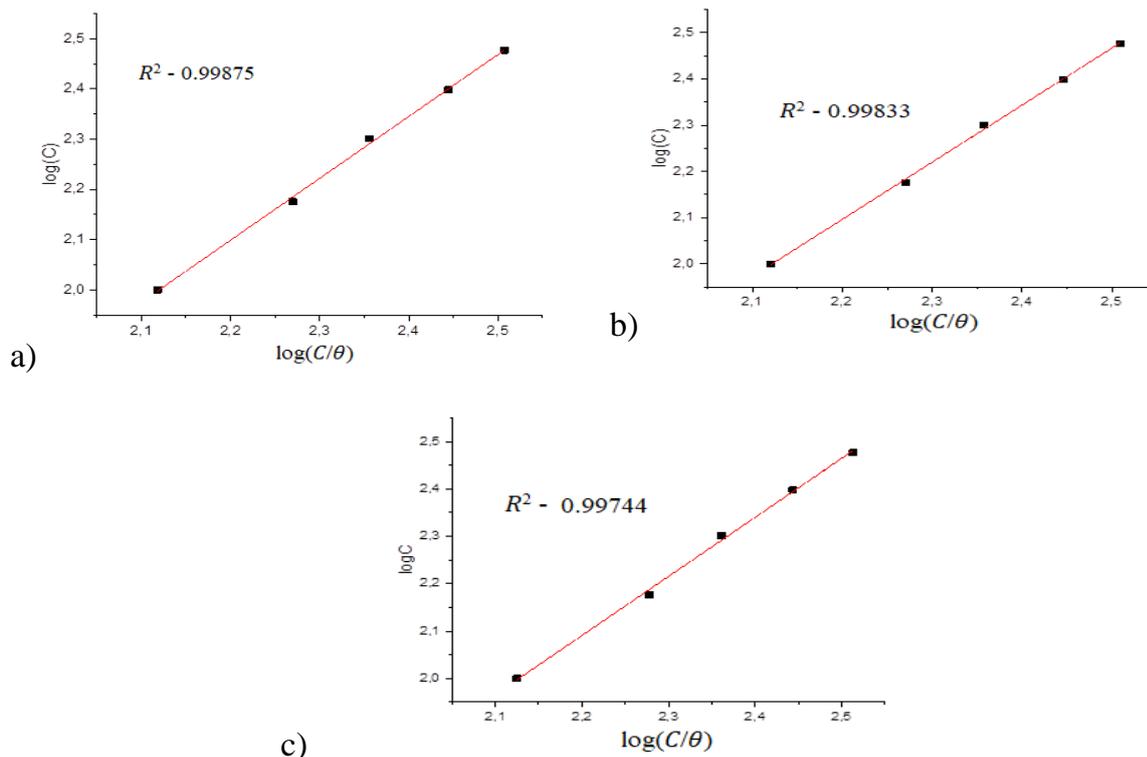
### GXMA ning xromato-mass spektri tahlili

M/z	Ionlar	Nisbiy intensivlik, %
143	$\text{C}_5\text{H}_9\text{N}_3\text{O}_2^+$	100,0
129	$\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_3\text{O}_2^+$	47,2
116	$\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_3\text{O}_2^+$	89,1
72	$\text{C}_2\text{H}_6\text{N}_3^+$	54,3
58	$\text{CH}_4\text{N}_3^+$	65,2
43	$\text{CH}_3\text{N}_2^+$	30,1
28	$\text{CH}_2\text{N}^+$	59,8

Intensivlikning yuqori bo‘lishi, fragmentlarning barqarorligini va tahlil qilingan molekula tuzilmasining ahamiyatini ko‘rsatadi. Bu fragmentatsiyalar, molekulaning tuzilishini va uning qanday bo‘lishi mumkinligini aniqlashda yordam beradi.

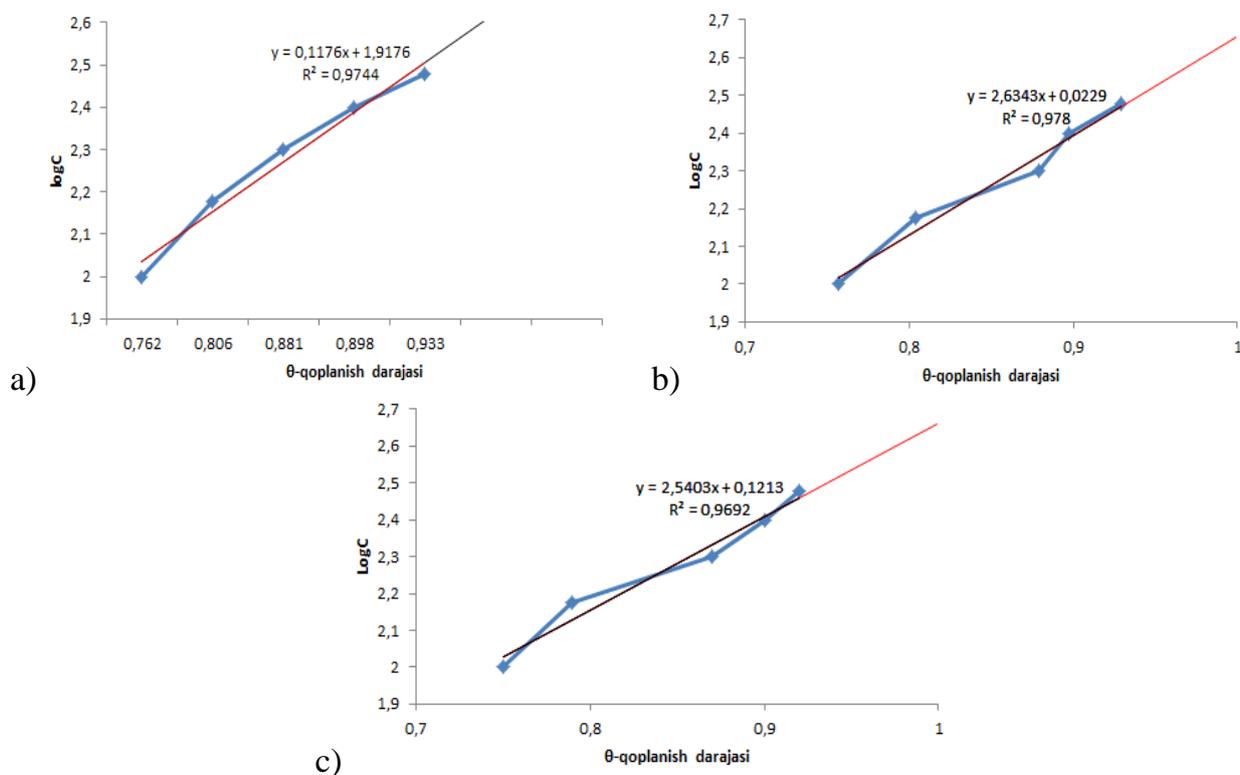
Lengmyur adsorbsion izotermasi adsorbsion hodisalari bilan bog‘liq bo‘lgan o‘ziga xos matematik modeldir. Bu model asosan adsorbsiyaning muvozanat holatini tushuntirish uchun ishlatiladi va adsorbsiyaning yuzaga qanday bog‘langanligini aniqlashga yordam beradi. GXMA ingibitorining 343 K, 353 K, 363 K larda 100 mg/l dan 300 mg/l konsentratsiya oralig‘ida sinovdan o‘tkazildi. Tajribalar natijasida olingan natijalarning tadqiqotlarga mosligini aniqlash maqsadida turli adsorbsiya izoterma tenglamalarida tekshirib ko‘rildi. 343, 353 va 363 K haraoratlarda  $\log(C/\theta)$  ni  $\log(C)$  ga munosabati natijasida 3-rasmlarda ko‘rsatilganidek chiziqli bog‘lanishlar hosil bo‘ldi.

Ushbu haroratlarda olingan natijalar asosida  $R^2$  qiymatlari 0,99875, 0,9833 va 0,99744 bo‘lib, bu Lengmyur adsorbsion izotermasiga kuchli muvofiqlikni ko‘rsatadi. Tyomkin izotermasida “ $\log C$ ” ning “ $\theta$ ” ga bog‘liqlik grafiklari 3 xil haroratda aniqlandi.



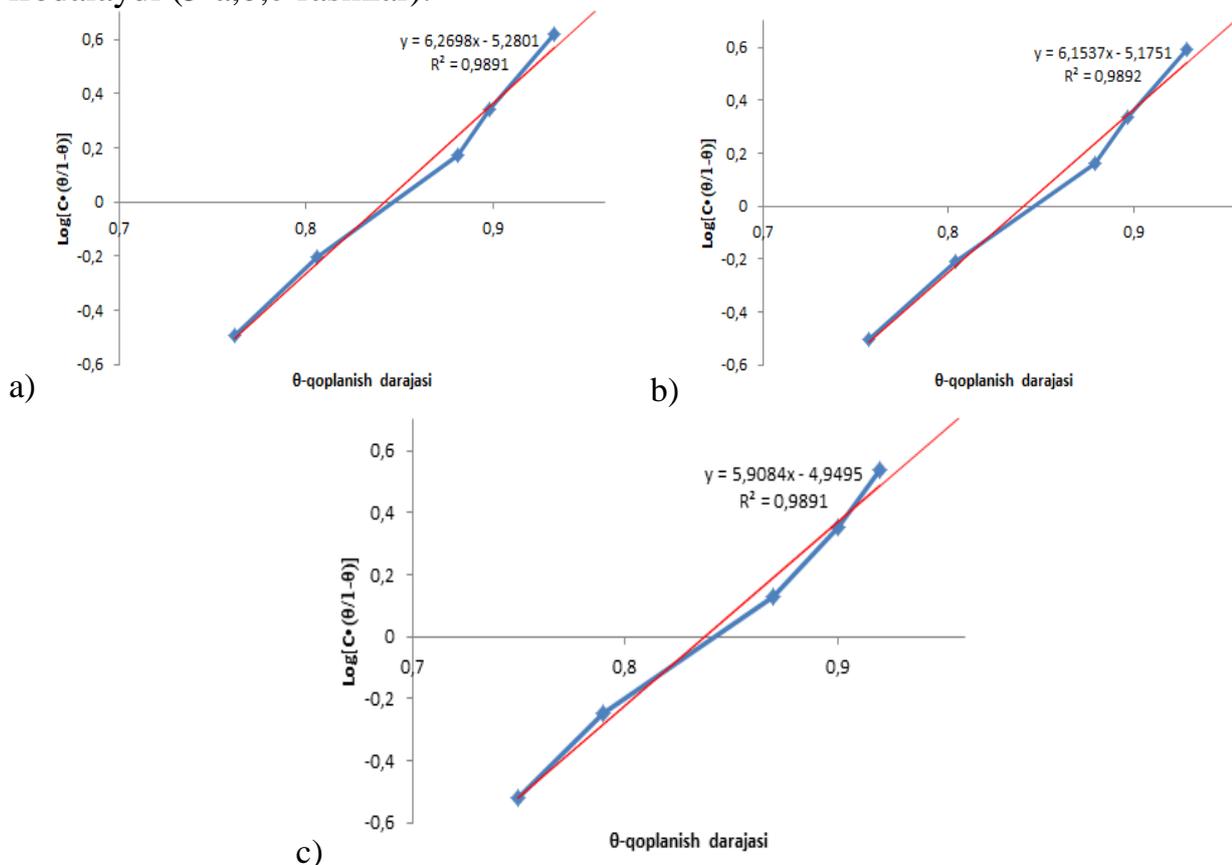
**3-rasm. GXMA ingibitorning a-343, b-353, c-363 K da po‘lat yuzasiga Lengmyur adsorbsiya izotermasi grafigi**

$R^2$  ning qiymatlari 343 K da 0,9744, 353 K da 0,978 hamda 363 K esa 0,9692 ekanligi jarayon natijalarining izoterma holatiga muvofiqlikni fodalaydi (4-a,b,c-rasmlar).



**4-rasm. GXMA ingibitorning a-343, b-353, c-363 K da po‘lat yuzasiga Tyomkin adsorbsiya izotermasi grafigi**

Frumkin izotermasida esa “ $\log[C \cdot (\theta/1-\theta)]$ ” ning “ $\theta$ ” ga bog‘liqlik grafiklarida  $R^2$  ning qiymatlari 343 K da 0,9891, 353 K da 0,9892 hamda 363 K esa 0,9691 ekanligi jarayon natijalarining izoterma holatiga muvofiqlikni ifodalaydi (5-a,b,c-rasmlar).



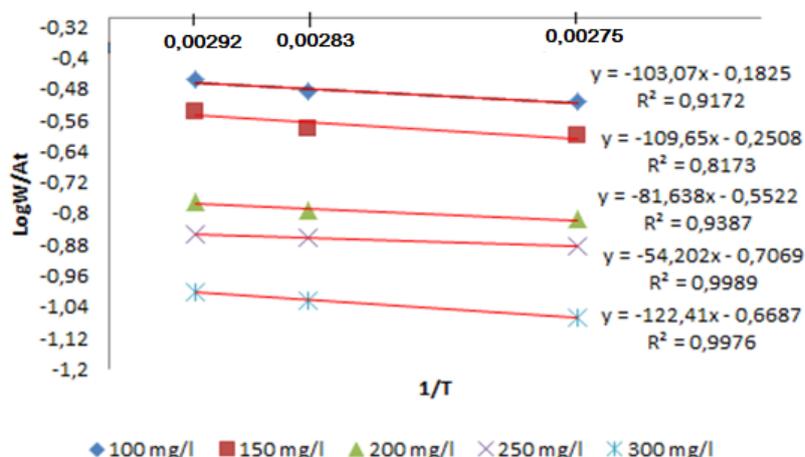
**5-rasm. GXMA ingibitorning a-343, b-353, c- 363 K da po‘lat yuzasiga Frumkin adsorbtsiya izotermasi grafigi**

Korroziya ingibitorining ta’sir mexanizmlarini aniqlash jarayonida termodinamik sistemaning energiya holati muhim ahamiyatga ega. Shu asosda, turli konsentratsiyalardagi ingibitorli va ingibitorsiz holatlarda korroziya jarayonida sistemaning termodinamik energiyasini aniqlash talab qilinadi. 6-rasmda turli haroratlarda va konsentratsiyalarda ingibitorlarning korroziya tezligining o‘zgarishi aks ettirilgan. Tadqiqotlardan olingan natijalar ingibitor konsentratsiyaning 300 mg/l bo‘lganda  $R^2$  qiymati 0,9976 ekanligini ko‘rsatdi. Bu esa tadqiqotlarning to‘g‘ri bajarilganligidan dalolat beradi. Ushbu tadqiqotlar korroziyaga qarshi strategiyalarni takomillashtirishga va yangi samarali ingibitorlarni yaratishga yo‘l ochadi. 343 K da korroziya ingibitorining po‘lat namunalarida korroziya jarayoniga ta’siri tadqiq etildi.

3-jadvaldan olingan natijalar shuni tasdiqlaydiki, guanidinxloridometilakrilat (GXMA) ingibitorining kislotali muhitda korroziyaga qarshi samaradorligi uning konsentratsiyasiga bevosita bog‘liqdir.

Tadqiqotlarda GXMA 300 mg/l konsentratsiyasida eng yuqori samaradorlikni namoyish qilgan bo‘lib, bu holatda ingibirlash jarayonining aktivlanish energiyasi 52,13 kJ/mol ga yetganligi qayd etilgan. Olingan natijalarga asoslanib ingibitorsiz holatda  $E_a$  qiymati 29,52 kJ/molni ingibitor konsentratsiyasi 300 mg/l bo‘lganda

esa 52,13 kJ/mol bo'lganligi ingibitor konsentratsiyasining oshib borishi aktivlanish energiyasi oshishiga olib kelyapti.



### 6-rasm. GXMA korroziya ingibitorining agressiv muhitda aktivlanish energiyasi uchun Arrenius grafigi

Aktivlanish energiyasining oshishi korroziya jarayonining sekinlashayotganligini anglatadi. Shuningdek ushbu qiymatlar metall yuzasida ingibitor ta'sirida himoya qatlami hosil bo'lishini va korroziya jarayonining sezilarli darajada sekinlashishini ko'rsatadi.

3-jadval.

### 343 K da GXMA ning turli xil konsentratsiyalarida po'lat namunalari korroziya jarayoni uchun aktivlanish energiyasi qiymatlari

GXMA konsentratsiyasi, mg/l	Termodinamik parametrlar				
	E <sub>a</sub> (kJ/mol)	ΔH (kJ/mol)	ΔS (J/mol·K <sup>-1</sup> )	Korroziya tezligi (mm/yil)	E <sub>a</sub> -ΔH (kJ/mol)
Ingibitorsiz, 15% li HCl	29,52	26,67	-175,31	1,44	2,85
100	36,84	34,00	-168,11	0,34	2,84
150	38,65	35,81	-154,87	0,28	2,84
200	41,25	38,4	-140,95	0,17	2,85
250	44,31	41,46	-120,37	0,15	2,85
300	52,13	49,28	-101,54	0,096	2,85

Shuningdek olingan natijalar asosida ingibitor adsorbsiyasining termodinamik parametrlari hisoblab chiqildi va ular asosida jarayonning mexanizmi yoritildi. Olingan natijalar 4-jadvalda keltirilgan.

4-jadval

### GXMA ingibitorining adsorbsiya jarayoni uchun termodinamik parametrlari

Harorat	K <sub>ads</sub>	ΔG <sub>ads</sub> , kJ/mol	ΔH <sub>ads</sub> , (kJ/mol)	ΔS <sub>ads</sub> , (kJ/mol·K)
343	46,53	-22,41	-12,31	29,44
353	43,67	-22,23		
363	38,46	-21,86		

Shunda  $K_{ads}$  ning qiymatlari Lengmyur izotermalaridagi kesishuvi asosida hisoblab chiqilgan.  $K_{ads}$  qiymatlaridan kelib chiqadiki, korroziya ingibitorining metall yuzasida adsorbsiyasi barcha desorbsiyasidan ustunroq ekanligini ko'rsatadi. 4-jadvaldagi ma'lumotlardan xulosa qilib aytadigan bo'lsak,  $\Delta G_{ads}^0$  qiymatlari 343–363 K oralig'ida olingan bo'lib, natijalar manfiy -21,86 kJ/mol dan -22,41 kJ/molgacha bo'lgan qiymatlarni bergan, shunday qilib, korroziya ingibitori metall yuzasidagi adsorbsiyasi o'z-o'zidan sodir bo'lishini tasdiqlaydi.

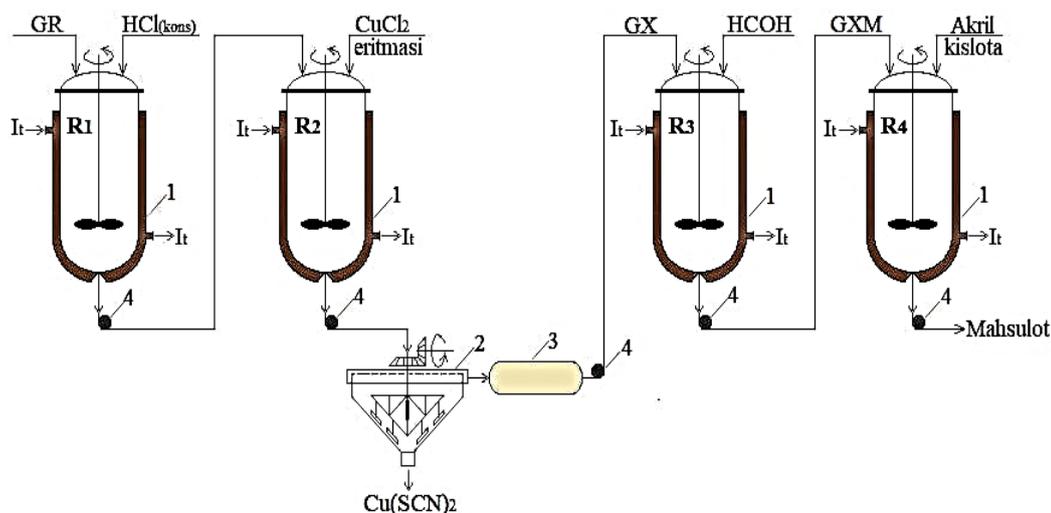
Dissertatsiyaning **“Olingan moddaning ishlab chiqarishda amaliy qo'llanilishi va texnologik imkoniyatlari”** deb nomlangan to'rtinchi bobda guanidinxlorid, metanal va akril kislota asosidagi mahsulotlarining antikorroziyon xossalari, sintez qilingan korroziya ingibitorini ishlab chiqarishda amaliy qo'llanilishi hamda donor atomlar saqlagan korroziya ingibitorini ishlab chiqarish texnologiyasi va sintez texnologiyasi tavsifi hamda GXMA moddasini ishlab chiqarish jarayonidagi iqtisodiy samaradorligi aniqlangan va import ingibitorlarning xossalari bilan solishtirilgan.

“Navoiyazot” AJ korxonasiining chiqindilaridan guanidin rodanid moddasi sovutish usuli yordamida muvaffaqiyatli ajratib olindi. Ajratilgan modda tarkibida mavjud bo'lgan qo'shimcha mahsulotlarni hisobga olgan holda, guanidin rodanid R1-reaktorda konsentrlangan (34-36%) xlorid kislotasi bilan ishlov berish bosqichidan o'tkazildi. Ushbu jarayon davomida harorat 30-35°C oralig'ida qat'iy nazorat ostida saqlanadi. Xlorid kislotasi bilan ishlov berish jarayonida modda tarkibidagi qo'shimchalar cho'kma shaklida ajralib chiqadi va pastga cho'kadi. Shu bilan birga, eritmada ortiqcha miqdordagi xlorid kislota, rodanid kislota va guanidin xlorid hosil bo'ladi. Hosil bo'lgan cho'kma keyingi bosqichga o'tishdan oldin ajratib olinadi. Shu jarayon natijasida guanidin xloridning sof eritmasi va boshqa kimyoviy komponentlar keyingi tahlillar va ishlov berish uchun tayyorlanadi. Keyingi bosqichda, ajratilgan filtrat R2-reaktorga yo'naltiriladi va u yerda  $CuCl_2$  (mis (II) xlorid) eritmasi bilan qayta ishlanadi. Ushbu jarayon davomida eritmada cho'kma hosil bo'lishi to'xtatilguncha qadar kimyoviy reaksiyalar nazorat ostida olib boriladi. Natijada qoramtir-jigarrang rangga ega bo'lgan mis (II) rodanid ( $Cu(SCN)_2$ ) cho'kmasi ajratib olinadi. Bu jarayonda qolgan eritmada guanidin xlorid saqlanib qoladi va keyingi bosqichlarga tayyorlanadi.

R3-reaktorda esa hosil bo'lgan guanidin xlorid eritmasi metanalning 38-40% konsentratsiyali eritmasi bilan ishlov beriladi. Ushbu jarayon 50-60°C harorat oralig'ida amalga oshirilib, reaksiya jarayoni davomida guanidin xlorid dimetilol (GXDM) cho'kmasi hosil bo'lguniga qadar davom ettiriladi. Bu bosqichda hosil bo'lgan GXDM cho'kmasi ajratib olinadi va keyingi kimyoviy jarayonlar yoki foydalanish uchun tayyorlanadi. Jarayonning har bir bosqichi qat'iy nazorat ostida olib borilib, samaradorlikni oshirish, chiqindilarni kamaytirish va mahsulot sifatini yuqori darajada saqlashga qaratiladi. Shu orqali guanidin hosilalarining texnologik zanjirini uzluksiz va iqtisodiy samarali holda amalga oshirish ta'minlanadi.

Keyingi qadamda olingan guanidin xlorid monometilol (GXM) gomogen eritmasi R4-reaktorga yo'naltiriladi va u yerda akril kislota bilan ta'sirlanadi. Ushbu bosqichda eterifikatsiya reaksiyasini faollashtirish va tezlatish maqsadida

katalizator sifatida konsentrlangan sulfat kislotadan foydalaniladi. Jarayon 70-75°C harorat oralig'ida barqaror sharoitda olib boriladi, bu esa reaksiya uchun optimal harorat hisoblanadi. Akril kislota bilan o'zaro ta'sir natijasida guanidin xlorid monometil akrilat (GXMA) hosil bo'ladi. Hosil bo'lgan mahsulot gomogen eritma shaklida R4-reaktorning pastki qismidan chiqarib olinadi. Ushbu jarayonda yakuniy mahsulotning eritma konsentratsiyasi o'rtacha 50-63% ni tashkil etadi, bu esa mahsulotni keyingi ishlov berish yoki to'g'ridan-to'g'ri foydalanish uchun mos holga keltiradi. Jarayonning har bir bosqichi mukammal nazorat ostida amalga oshiriladi va yuqori sifatli GXMA mahsulotini sintez qilish uchun maxsus texnologik shartlar yaratiladi (7-rasm).



**7-rasm. GXMA korroziya ingibitor olishning prinsipial texnologik sxemasi.**

1-reaktor ; 2-tindirgich ; 3- sig'im; 4-nasoslar

“Muborak neft va gaz qazib chiqarish” boshqarmasi markaziy laboratoriyasida tekshirilganda quyidagi natijalarga erishildi.

- St20 va 09G2S po'latlarga agressiv muhitning ta'sirini kamaytirishga erishildi;

- Korroziya ingibitori po'lat yuzasida aralash mexanizmda adsorbsiyalanishi natijasida korroziya tezligi sezilarli darajada kamayib ketdi;

- korroziya ingibitorini gravimetrik usul bilan turli markali po'lat namunalarida aniqlanganda korroziyadan himoyalash samaradorligi St20 uchun 93,4 % va 09G2S markalisi uchun esa 93,2% ni tashkil qildi;

- GXMA moddasi neft va gaz sanoatida ingibitorlarni qo'llash uchun hujjat NGH 39.0-051:2007 talablariga mos keladi (5-jadval).

**5-jadval**

- **NGH (RH)39.0-051:2007 ga muvofiq o'tkazilgan korroziyon tadqiqotlarning natijalari**

Tajribada ishlatilgan po'lat markalari	Tajribada aniqlangan himoyalash darajasi, %	NGH (RH)39.0-051:2007 talablariga mosligi
St20	93,4	Mos
09G2S	93,2	Mos

Sinovlar uning sifati xorijiy analoglarga teng yoki ustun ekanini ko'rsatdi. GXMA korroziya ingibitori kislotali muhit uchun tavsiya etilgan Pachem C101 bilan solishtirilib, natijalar 6-jadvalda keltirilgan.

### 6-jadval

#### 343 K 300 soatda ishchi eritmada (15%li HCl eritmasi) korroziya ingibitorlar GXMA va Pachem-C101 o'tkazilgan sinov natijalari

Namuna nomi	Miqdori (mg/l)	Massa ayirmasi	Himoya darajasi, %
Pachem-C101	100	0,0069	84,8
	150	0,0061	86,5
	200	0,0058	88,2
	300	0,0052	92,6
GXMA	100	0,0058	85,5
	150	0,0051	87,2
	200	0,0041	88,6
	300	0,003	93,3

Ushbu jadvaldan ko'rinib turibdiki, 343 K da maksimal 300 soat davomida o'tkazilgan tajribalar shuni ko'rsatadiki GXMA ingibitorining 300 mg/l miqdorida himoyalash darajasi 93,3% ni, Pachem C101 ingibitorniki esa 92,6% ekanligi GXMA ning himoyalash darajasi yuqori ekanligini anglatadi.

### 7-jadval

#### GXMA korroziya ingibitori narxining strukturasi

№	Nomlanishi	O'lchov birligi	Miqdori	Bir birligining narxi, so'm	Umumiy yig'indi, so'm
1	GXMA	kg	1000	19 353,562	19 353 562

7-jadvaldan ko'rinadiki, GXMA korroziya ingibitorlarining 1 tonnasini ishlab chiqarish uchun 19 353 562 so'm miqdorda boshlang'ich materiallar sarflanadi.

### 8-jadval

#### Xorijiy korroziya ingibitorlari narxlarining strukturasi

№	Nomlanishi	O'lchov birligi	Miqdori	Bir birligining narxi, so'm	Umumiy yig'indi, so'm
1	Pachem-C101	kg	1000	24 587,150	24 587 150
2	PuRO-Tech <sup>R</sup> iChem 1011 A	kg	1000	29 558	29 558 089

8-jadvaldan ko'rinadiki, 1 tonna Pachem-C101 markali korroziya ingibitorini ishlab chiqarish uchun 24 587150 so'm, 1 tonna PuRO-Tech<sup>R</sup> iChem 1011 A markali korroziya ingibitorini ishlab chiqarish uchun esa 29 558 089 so'm miqdorda boshlang'ich materiallar sarflanadi.

## XULOSA

1. Akril kislota, metanal, guanidin va uning rodanidli tuzi asosida yangi tarkibli korroziya ingibitori olingan va sintezning optimal muhiti ilmiy asoslandi hamda GXMA moddasining 75°C dagi hosil bo'lish unumini 86,5% ga oshirishga erishildi.

2. Sintezlangan korroziya ingibitorning korroziya tezligi 0,086 g/m<sup>2</sup>•s, himoyalash darajasi 93,3%, tormozlash koeffisienti 15 ni va adsorbsiya jarayoni izotermalaridan olingan natijalar esa po'lat yuzasida fizik-kimyoviy adsorbsiya amalga oshganligi zamonaviy tadqiqot usullari yordamida aniqlandi.

3. Ishchi eritmalarda va neft-gazni qazib olish jarayonida ishlatiladigan kislotali muhitlarda sintezlangan ingibitordan foydalanilganda uning samaradorligi 93,3 % gacha oshirilganligi aniqlandi.

4. Neft-gaz qazib chiqarishda va turli kislotali muhitlarda sintez qilingan ingibitor qo'llanilganda yuqori himoyalash darajasini saqlab qoladi va ishlab chiqarishda ishlatiladigan Pachem-C101 korroziya ingibitoridan (himoyalash darajasi 92,6%) guanidin asosli GXMA ingibitori (himoyalash darajasi 93,3%) samaraliroq ekanligi ko'rsatilgan.

5. Adsorbsiya izotermalaridan olingan  $R^2$  qiymatlari 0,99875, 0,9833 va 0,99744 bo'lib, bu Lengmyur adsorbsion izotermasiga kuchli muvofiqlikni va po'lat yuzasidagi temir ionlari bilan donor atomlar orasida boradigan fizik-kimyoviy adsorbsiyaning monomolekulyar ekanligini isbotlagan. Shu sababli sintezlangan GXMA ingibitori po'latdan yasalgan uskunalarni korrozion agressivligi yuqori bo'lgan kislotali suvlar uchun korroziya ingibitori sifatida tavsiya etilgan.

6. Tadqiqotlar natijasida metanal, akril kislota, guanidin rodanid va guanidin xlorid asosida sintez qilingan korroziya ingibitorining texnologiyasi ishlab chiqildi va "Muborak neft va gaz qazib chiqarish" boshqarmasi markaziy laboratoriyasida sinovdan o'tkazildi hamda kislotali muhitlarda uchraydigan korroziyani oldini olish uchun maqsadga muvofiq deb hisoblandi. Pachem-C101 sanoat korroziya ingibitorini guanidin asosidagi GXMA korroziya ingibitoriga almashtirganda 1t mahsulotdan olinadigan sof iqtisodiy foyda 5 223 588 so'mni, PuRO-TechR iChem 1011 A ingibitoriga almashtirilganda esa 10 204 527 so'mni tashkil qilishi ko'rsatib berilgan.

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

---

**БУХАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ГАФУРОВА ГУЛНОЗ АЛИХОНОВНА**

**Синтез, технология и исследование адсорбции ингибиторов на основе  
производных гуанидина на металлах**

**02.00.11 – Коллоидная и мембранная химия**

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

**Бухара – 2025**



## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире на сегодняшний день продукты тонкого органического синтеза, особенно органические соединения, содержащие различные функциональные группы и донорные атомы, широко используются в различных отраслях народного хозяйства, в том числе в сельском хозяйстве, фармацевтике, химической промышленности, текстильной, лакокрасочной, нефтегазохимии. Поэтому актуальным является изучение различных природных катализаторов, органических растворителей и их смесей, влияющих на синтез таких соединений, а также синтез важных химических компонентов на их основе.

Во всём мире бурное развитие современной химической промышленности увеличивает вероятность коррозии металлоконструкций, используемых в процессах добычи, транспортировки и переработки нефти и газа под воздействием агрессивных сред. В этих процессах такие факторы, как щелочные, кислые и солевые растворы, повышенная влажность, высокое давление и высокая температура вызывают быструю коррозию металлов, что приводит к простоям производства, быстрому износу оборудования и экономическим потерям. Поэтому для эффективной борьбы с коррозией научные исследования направлены на использование веществ, замедляющих и останавливающих процесс коррозии, среди которых особое значение имеет роль ингибиторов коррозии. Сегодня одним из приоритетных направлений является разработка высокоэффективных, экологически безопасных и экономически выгодных ингибиторов коррозии, их промышленное применение и создание нового поколения импортозамещающей продукции. Также, при создании ингибиторов коррозии особое внимание уделяется производству экологически чистых, устойчивых и эффективных веществ с использованием природных ресурсов (растительных масел, природных алкалоидов, органических остатков) для импортозамещения.

В нашей Республике достигаются определённые научные и практические результаты в области разработки органических веществ с заданными свойствами и эффективных ингибиторов коррозии на основе местного сырья и вторичных продуктов промышленности. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан обозначены важные задачи и системные мероприятия по «дальнейшей интенсификации производства готовой продукции с высокой добавленной стоимостью на основе глубокой переработки местного сырья, освоение и совершенствование технологий получения качественно новой продукции». В этом направлении проводились прикладные исследования по получению композитных соединений олигомерного типа, предотвращающих коррозию металлических изделий. Это имеет большое значение для разработки и внедрения в практику технологий получения новых типов ингибиторных соединений на основе промышленных отходов.

Данное диссертационное исследование в определенной мере послужат

реализации задач, обозначенных в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы»<sup>1</sup>, № УП-6244 от 9 июня 2021 года «О дополнительных мерах по повышению промышленного потенциала регионов», Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-4805 от 12 августа 2020 года «О мерах по повышению качества непрерывного образования и результативности науки по направлениям «химия» и «биология»» и других нормативно-правовых актах, связанных с данной деятельностью.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики.** Диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики VII. «Химические технологии и нанотехнологии»; XII. «Технологии получения органических, неорганических, полимерных и других натуральных материалов».

**Степень изученности проблемы.** Над синтезом и изучением свойств органических веществ с заданными свойствами на основе производных гуанидина, предотвращающих и ингибирующих коррозию металлов в различных отраслях промышленности, работали следующие зарубежные ученые: E.E.Oguzie, M.S.Hussain, M.R.Jakeria, M.A.Fazal, R.Khan, A.E.Somers, A.A. Анисимов, A.B. Арзуманян, Ю.Н. Кононович, М.Н. Темников, О.Г. Синяшин, Ю.Х. Будникова, А.А. Карасик, В.Ф. Миронов, П.А. Стороженко, Г.И. Щербакова, Б.А. Трофимов, Ю.И. Кузнецов, С.М. Решетников, А.Г. Акимов, Ю.М. Колотыркин, В.П. Батракова, П.С. Фахретдинов, В.И. Вигдорович, Н.В. Шелл, Л.Ю. Сиганкова, М. Хани, С.Н. Степин, О.П. Кузнецова, П.В. Стрекалов и др, а также учёные нашей республики: Р.С.Тиллаев, Т.Д.Сиганов, Ф.К.Курбанов, А.Т.Джалилов, А.Икрамов, Д.Юсупов, З.Б.Таджиходжаев, К.И.Акбаров, Х.С.Бекназаров, Х.Кодиров, Н.Б.Эшмаматова, А.Ж.Холиков и др.

Вышеуказанными учёными проведены исследования по синтезу ингибирующих веществ в химической и нефтегазовой промышленности, решению проблем коррозии металлов. Также, благодаря их плодотворной научной деятельности, достигнуты значительные научные и практические результаты в создании многофункциональных ингибиторов и изучении механизма их действия.

Однако, получение гуанидина и его производных в настоящее время считается наиболее эффективной технологией переработки ряда отечественного сырья. В последние годы переработка природного, нефтяного и попутного газов показала весьма положительные результаты в развитии этой технологии. Получение производных гуанидина на основе отечественной сырьевой базы позволяет синтезировать ряд веществ с особыми свойствами. Вместе с тем, возможности использования

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

производных гуанидина и полученных на их основе олигомеров и полимеров в химической промышленности изучены недостаточно.

**Соответствие исследования планам научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, в котором выполнена диссертация.**

Диссертационное исследование выполнено в рамках хозяйственного договора № 18-18/2021 (2021-2024 гг.) «Внедрение технологии производства одоранта, добавляемого в природный газ» в соответствии с планами научно-исследовательских работ Бухарского государственного технического университета.

**Цель исследования** на этом принципе основаны синтез, технология и адсорбция ингибиторов на основе производных гуанидина на металлах.

**Задачи исследования** заключаются в следующем:

определение оптимальных условий синтеза коррозионного ингибитора на основе гуанидиновых производных, метанала и акриловой кислоты;

исследование ингибирующих свойств различных органических функциональных групп в составе синтезированного ингибитора коррозии и научное обоснование коллоидно-химического механизма их адсорбции на металлической поверхности;

определение механизма ингибирования путем анализа энергии Гиббса, энтропии, энтальпии и изотерм адсорбции;

установление зависимости скорости коррозии, коэффициента защиты и коэффициента торможения ингибитора от давления, температуры, значения pH агрессивной среды, состава и концентрации ингибитора;

разработка технологии процесса синтеза коррозионных ингибиторов с заданными свойствами, внедрение ингибиторов на практике и оценка их экономической эффективности.

**Объектами исследования** выбраны гуанидин роданид, соляная кислота, метаналь, акриловая кислота, различные неорганические катализаторы и растворители.

**Предметом исследования** является изучение оптимальных условий синтеза ингибиторов, содержащих донорные атомы, на основе гуанидина и местного сырья, научное обоснование защитных свойств синтезированного ингибитора в различных агрессивных средах в зависимости от давления, температуры и концентрации ингибитора, а также закономерностей физико-химической адсорбции на поверхности металла.

**Методы исследования.** В ходе выполнения диссертационной работы использованы квантово-химические методы исследования, инфракрасная спектроскопия (ИК-спектроскопия) и масс-спектрометрия для определения структуры и функциональных групп синтезированного ингибитора, сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) для изучения образования комплексов ингибитора на поверхности металла, а также гравиметрический анализ.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

синтезирован новый составной коррозионный ингибитор на основе

акриловой кислоты, метанола, гуанидина и его роданидной соли, подобраны различные оптимальные среды, и научно обосновано достижение выхода реакции 86,5% при температуре 75 °С;

рассчитаны значения энергии Гиббса для синтезированного коррозионного ингибитора, которые составили  $G = -21,86$  и  $-22,41$  кДж/моль, и научно доказано, что адсорбция ингибитора на поверхности металла происходит самопроизвольно;

доказано, что при увеличении концентрации синтезированного ингибитора в процессе адсорбции до 100–300 мг/л энергия активации коррозии возрастает с 36,84 до 52,13 кДж/моль;

гравиметрическим методом научно доказано, что скорость коррозии составляет 0,096 мм/год, степень защиты — 93,3%, степень полного покрытия поверхности — 0,933, а коэффициент торможения равен 15;

разработана принципиальная технологическая схема получения ингибитора коррозии ГКМ (гуанидинхлорида метилакрилат) на основе производного гуанидина.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

синтезирован новый ингибитор коррозии на основе акриловой кислоты, метанола, гуанидина и его роданидной соли, выход реакции при 75°С составил около 86,5%.

разработаны оптимальные условия и технологические параметры синтеза ингибиторов коррозии на основе хлорида гуанидина, метанола и акриловой кислоты;

современными физико-химическими методами исследования определены качественный и количественный состав и структура ингибитора коррозии, синтезированного на основе гуанидинхлорида, метанола и акриловой кислоты;

методом гравиметрического анализа изучены ингибирующие свойства синтезированных ингибиторов и степень покрытия металлической поверхности. на основании полученных данных рассчитаны кинетические параметры процесса коррозии (энергия активации, энергии Гиббса), а также изотермы и термодинамические параметры процесса адсорбции на поверхности стали.

**Достоверность результатов исследования** поясняется тем, что определены структура, физико-химические свойства и эффективность полученного ингибитора коррозии на основе результатов, полученных с использованием современных физико-химических методов, таких как хромато-масс-спектрометрия, ИК-спектроскопия, криоскопия, сканирующая электронная микроскопия, гравиметрия и квантовая химия, изучены защитные свойства и кроющая способность ингибиторов на основе изотерм адсорбции ингибитора на поверхности стали, термодинамики процесса коррозии и энергии активации, изучено соответствие практических результатов, полученных в лабораторных и производственных условиях, с теоретическими научными данными, разработанные решения внедрены в

промышленное производство..

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость исследования заключается в синтезе ингибиторов коррозии на основе хлорида гуанидина, метаналь и акриловой кислоты, изучении кинетики синтеза, физико-химических свойств ингибиторов, установлении механизма адсорбции ингибитора на металлической поверхности, определении изотерм адсорбции, а также ряда термодинамических параметров ингибирующих процессов.

Практическая значимость исследования заключается в том, что синтезированный ингибитор коррозии ГХМА эффективно защищает различные марки стали от коррозии в различных агрессивных средах нефтегазовой отрасли, обеспечивая тем самым длительный срок службы металлоконструкций.

**Внедрение результатов исследований.** На основе научных результатов, полученных при изучении синтеза, технологии получения и адсорбции на металлах ингибитора на основе производных гуанидина:

ингибитор коррозии, содержащий хлорметилакрилат гуанидина, включен в «Перечень перспективных разработок для внедрения в 2025–2030 годах» ООО «Олотская нефтегазоразведочная экспедиция» (справка № 56 ООО «Олотская нефтегазоразведочная экспедиция» от 31 января 2025 года). В результате при использовании ингибитора адсорбция ингибитора в водонефтяных эмульсиях происходит по смешанному механизму, что позволяет повысить эффективность защиты от коррозии до 93,4% для образца стали Ст20 и до 93,2% для марки 09Г2С;

ингибиторы, содержащие донорные атомы, включены в «Перечень перспективных разработок для внедрения в 2025–2030 годах» ООО «Мубаракское нефтегазоразведочное управление». (ООО «Мубаракская нефтегазоразведка» Дирекция «Конфиденциальность и безопасность» № По1/ТВ-2762 от 14 июля 2025 г.). В результате средний уровень защиты ингибитора коррозии гуанидинхлорметилакрилата на сталях марок Ст20 и Ст3 может быть повышен до 93,3%.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования обсуждены в виде докладов на 8 научно-практических конференциях, в том числе 5 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе 1 свидетельство Министерства юстиции Республики Узбекистан (ДГУ), 8 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций доктора философии (PhD), в том числе 2 в республиканских и 6 в зарубежных журналах.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 113 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

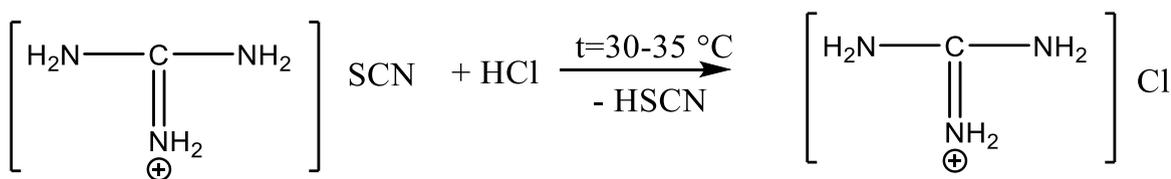
**Во введении** описаны актуальность и востребованность темы диссертации, цель и задачи, объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, освещены научная и практическая значимость полученных результатов, представлены сведения о внедрении результатов в практику, опубликованных научных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной **«Современное состояние химии и технологии гуанидина и его производных»** представлены сведения и проанализированы тенденции развития химии синтеза соединений, содержащих донорные атомы, перспективы развития и современное состояние исследований в области создания эффективных ингибиторов коррозии на основе производных гуанидина, а также сведения об агрессивных средах для металлов и используемых в них ингибиторах коррозии.

Во второй главе диссертации, озаглавленной **«Получение соединений с заданными свойствами на основе гуанидина и методы исследования в их применении»** обоснованы физико-химические характеристики и методы синтеза выбранных для исследования веществ, представлены методы получения гуанидинхлорида из гуанидинроданида и его конденсации с метанолом и акриловой кислотой, анализ состава синтезированных соединений, а также методика проведения экспериментов.

Третья глава диссертации, озаглавленная **«Синтез, свойства ингибитора коррозии и коллоидно-химическое исследование его адсорбционных характеристик»**, состоит из двух параграфов, где описано получение нового ингибитора коррозии на основе производных гуанидина (гуанидина роданида, гуанидина хлорида), акриловой кислоты и метанала, научно обоснована оптимальная среда синтеза. Научно обоснованы функциональные группы в синтезированном ингибиторе коррозии, их физико-химические свойства, механизм физико-химической адсорбции на поверхности металла с участием донорных атомов, определены изотермы адсорбции. Определены энергии активации, энергии Гиббса, энтальпии и энтропии синтезированного ингибитора в процессе адсорбции. Проведен анализ морфологических изменений ингибированной поверхности стали на основе микрофотографий, полученных с образцов металла после коррозии с помощью сканирующего электронного микроскопа. Гравиметрическим методом определены скорость коррозии, степень защиты и полнота покрытия поверхности, а также коэффициенты ингибирования в зависимости от концентрации раствора ингибитора коррозии.

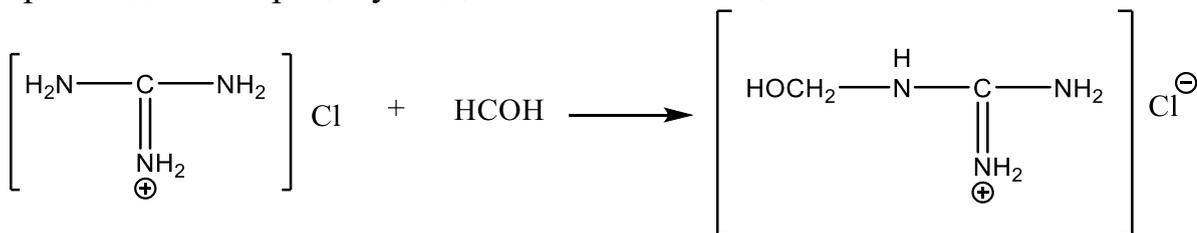
Изучено влияние температуры на синтез ингибитора на основе гуанидина, метанала и акриловой кислоты. Ниже приведены уравнения последовательных реакций данных процессов.



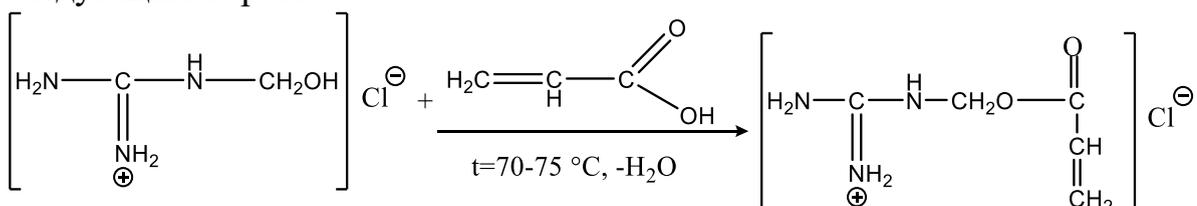
Реакция превращения роданида гуанидина в хлорид гуанидина проводилась при температуре 30–35 °С.



Выделенный хлорид гуанидина помещали в трёхгорлую колбу объёмом 500 мл, смешивали с раствором метанола в мольном соотношении 1:1 и нагревали при температуре 50–60 °С. При этом выделялось метилольное производное хлорида гуанидина желтоватого цвета.



Уравнение реакции образования ГХМА можно представить следующим образом.



Синтезированный ГХММ был выделен и на следующей стадии подвергнут взаимодействию с акриловой кислотой. При этом максимальный выход реакции, составивший 86,5%, наблюдался в интервале температур 70–75 °С (таблица 1).

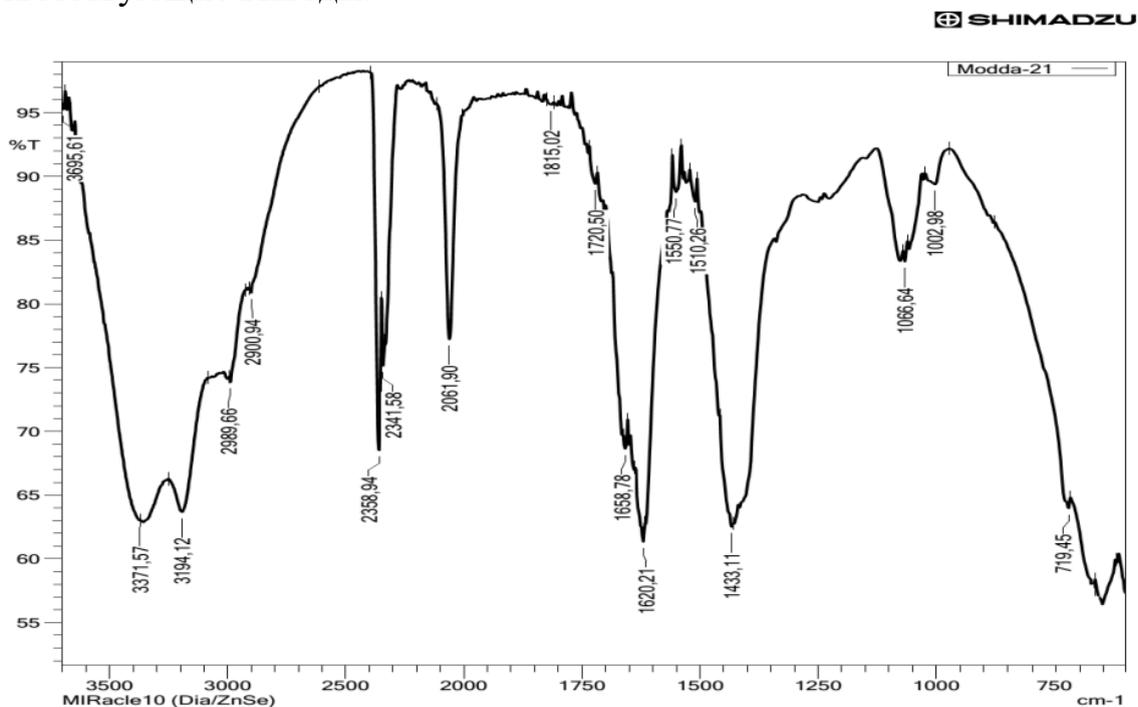
**Таблица 1**

**Зависимость выхода ГХМА от температуры**

Т/г	Температура проведения реакции, °С	Выход реакции, %
1	35	48,2
2	48	50,3
3	55	58,6
4	60	75,8
5	70	83,8
6	75	86,5
7	80	81,3

При повышении температуры реакционной смеси выход реакции значительно снижается, что связано с уменьшением взаимодействия акриловой кислоты с метилольной группой и протеканием обратной реакции, то есть дезтерификации. Для увеличения скорости реакции в качестве

катализатора была использована концентрированная (96%) серная кислота. К смеси ГХММ и акриловой кислоты, взятых в мольном соотношении 1:1, было добавлено 5 мл концентрированной серной кислоты и нагревали в диапазоне температур 70–75°C. В результате реакции образование ГХМА подтверждалось загустением реакционной смеси и формированием более вязкой массы. Получение данного соединения было подтверждено с помощью различных физико-химических методов исследования и сделаны соответствующие выводы.



**Рис. 1. Инфракрасный спектральный анализ синтезированного вещества ГХМА**

Как видно из рисунка 1, характерные линии поглощения были обнаружены в диапазонах частот  $3371,57\text{ см}^{-1}$ ,  $3194,12\text{ см}^{-1}$ ,  $2989,66\text{ см}^{-1}$ ,  $2358,94\text{ см}^{-1}$ ,  $2061,90\text{ см}^{-1}$ ,  $1720,50\text{ см}^{-1}$ ,  $1658,78\text{ см}^{-1}$ ,  $1620,21\text{ см}^{-1}$  и  $1433,11\text{ см}^{-1}$ . Полоса поглощения при  $3371,57\text{ см}^{-1}$  характерна для иминной группы ( $-\text{C}=\text{NH}$ ), что подтверждает наличие данной группы. В области  $3194,12\text{ см}^{-1}$  наблюдаются валентные колебания, характерные для аминогруппы ( $-\text{NH}_2$ ). Колебания при  $2358,94\text{ см}^{-1}$  характерны для группы ( $-\text{C}=\text{NH}^+$ ). Ещё одна характерная полоса поглощения в ИК-спектре хлорида гуанидина наблюдается при  $2061,90\text{ см}^{-1}$ , что соответствует колебаниям ненасыщенной группы ( $-\text{C}=\text{C}-$ ). Это подтверждает присутствие в структуре вещества ненасыщенных групп акриловой кислоты. В области  $1433,11\text{ см}^{-1}$  наблюдаются колебания связи (C-N) группы ( $\text{HC}-\text{CO}-\text{O}-$ ), что свидетельствует об образовании сложного эфира. Полоса при  $1658,78\text{ см}^{-1}$  характерна для валентных колебаний карбонильной группы ( $-\text{C}=\text{O}$ ). Также поглощения, зарегистрированные в области от  $1625\text{ см}^{-1}$  до  $1725\text{ см}^{-1}$ , в частности интенсивная полоса при  $1720,50\text{ см}^{-1}$ , соответствуют валентным колебаниям группы  $-\text{C}=\text{N}$  молекулы гуанидина. В области  $1066,64\text{ см}^{-1}$  наблюдаются характерные колебания связи ( $-\text{NH}-\text{CH}_2-$ ), что подтверждает

взаимодействие метаняля с аминогруппой ( $-\text{NH}_2$ ) гуанидина. Приведенные выше результаты инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR (Fourier-transform infrared spectroscopy)) с научной точки зрения подтверждают, что синтезированным веществом является ГХМА (соединение, образуемое на основе молекулы гуанидина). Эти полосы поглощения подтверждают наличие разнообразных функциональных групп в молекуле и однозначно свидетельствуют об их образовании в процессе синтеза.

Для более полного подтверждения структуры метилакрилата гуанидинхлорида, полученного на основе хлорида гуанидина, был также снят его хромато-масс-спектр. На рисунке 2 представлен хромато-масс-спектр ГХМА.

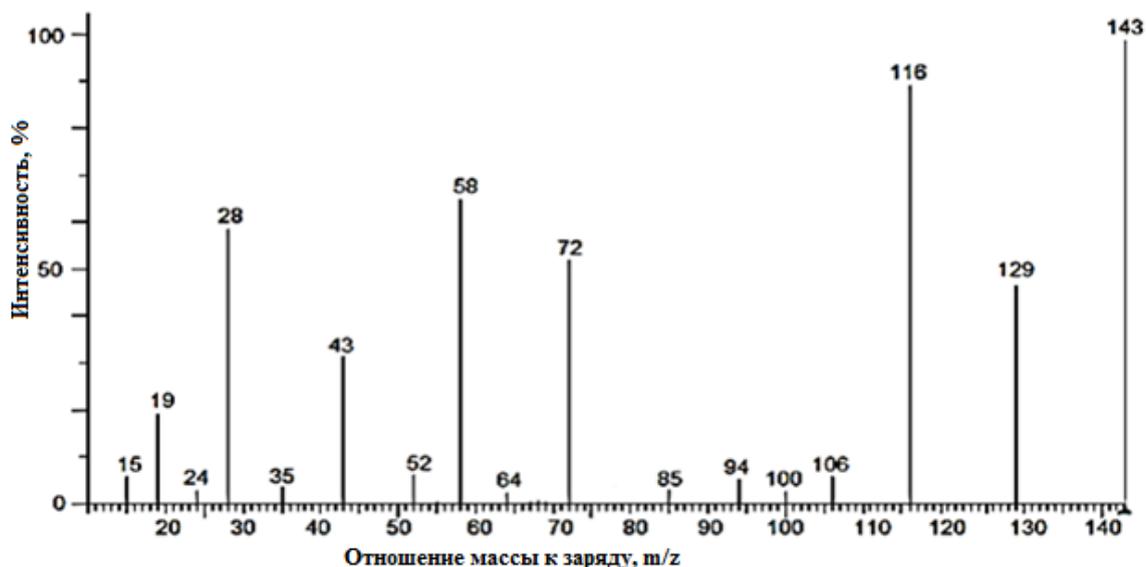
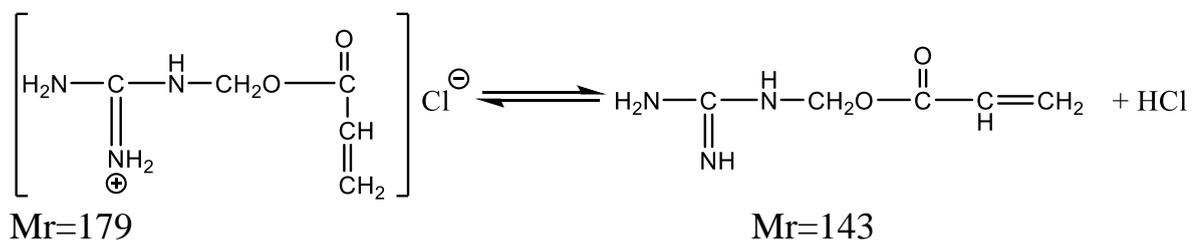
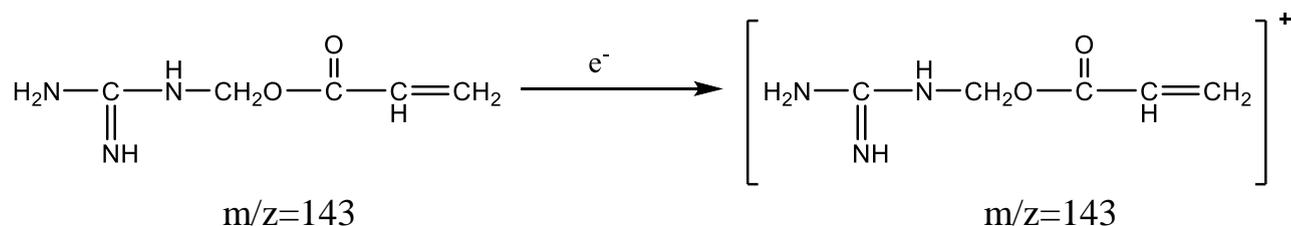


Рис. 2. Хромато-масс-спектр ГХМА

100%-ная интенсивность пиков хромато-масс-спектра ГХМА соответствует массе 143. Это соответствует иону гуанидинометилакрилата в ГХМА.



Это основная молекула (или её заряженная форма), и её распад характеризуется наибольшей интенсивностью. Это первый распад, представляющее собой основную часть молекулярной структуры. Максимальная интенсивность наблюдается при значении  $m/z = 143$ , что позволяет определить его как основной фрагмент.



Анализ представленных масс-спектрометрических данных позволяет глубже понять процессы фрагментации и молекулярную структуру вещества. Из данных масс-спектрометрического анализа ясно, что основная молекула ( $\text{C}_5\text{H}_9\text{N}_3\text{O}_2^+$ ) дает пик максимальной интенсивности (100%), а последующие фрагменты ( $m/z = 129, 116$  и  $72$ ) возникают в результате различных механизмов фрагментации. В следующей таблице-2 перечислены различные ионы и их относительные интенсивности в хромато-масс-спектре ГХМА:

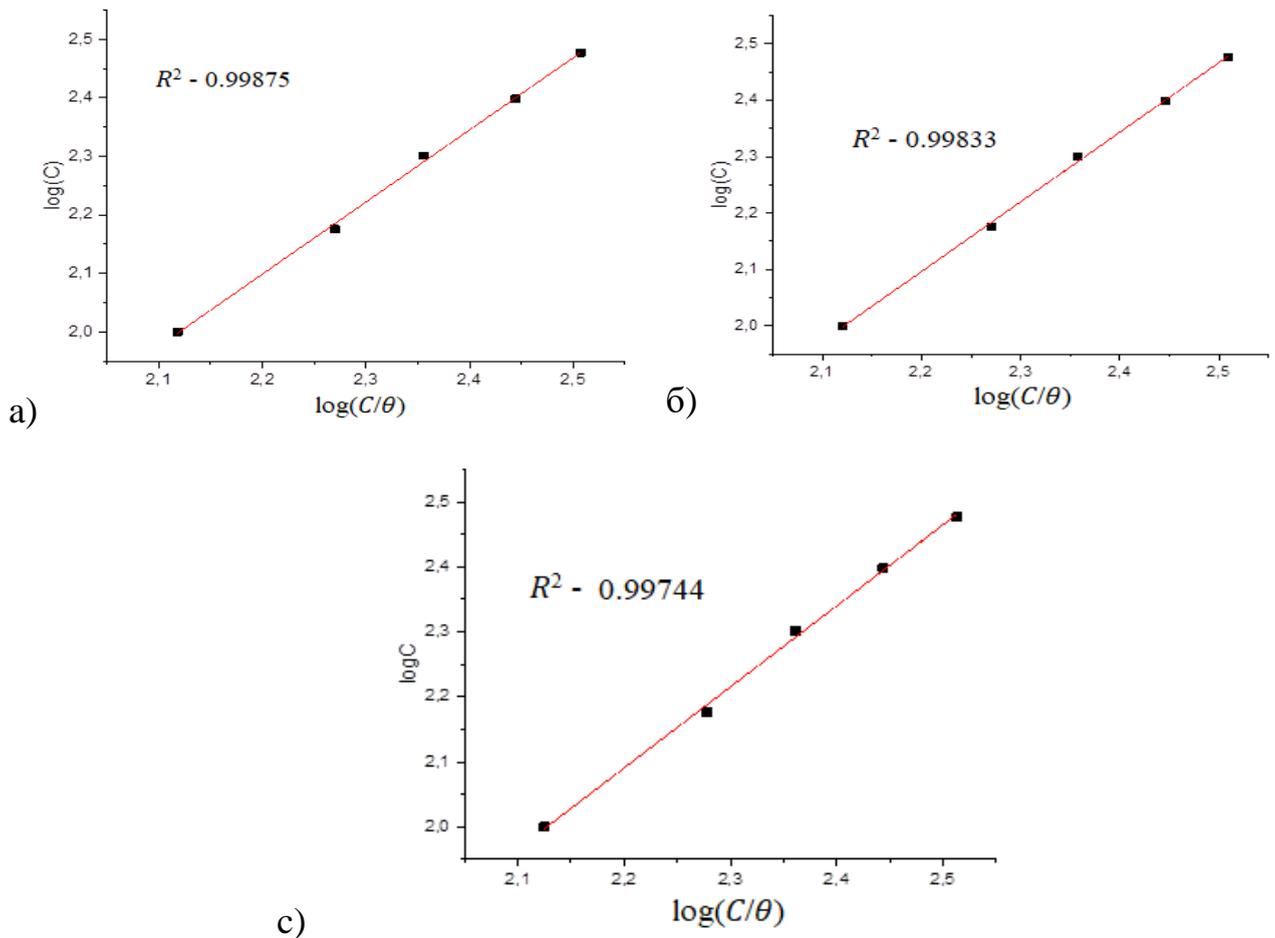
**Таблица 2**

**Хромато-масс-спектральный анализ ГХМА**

M/z	Ионы	Относительная интенсивность (%)
143	$\text{C}_5\text{H}_9\text{N}_3\text{O}_2^+$	100,0
129	$\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_3\text{O}_2^+$	47,2
116	$\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_3\text{O}_2^+$	89,1
72	$\text{C}_2\text{H}_6\text{N}_3^+$	54,3
58	$\text{CH}_4\text{N}_3^+$	65,2
43	$\text{CH}_3\text{N}_2^+$	30,1
28	$\text{CH}_2\text{N}^+$	59,8

Высокая интенсивность свидетельствует о стабильности фрагментов и подчеркивает важность структуры исследуемой молекулы. Полученные данные о фрагментации позволяют глубже понять строение и возможную конфигурацию молекулы.

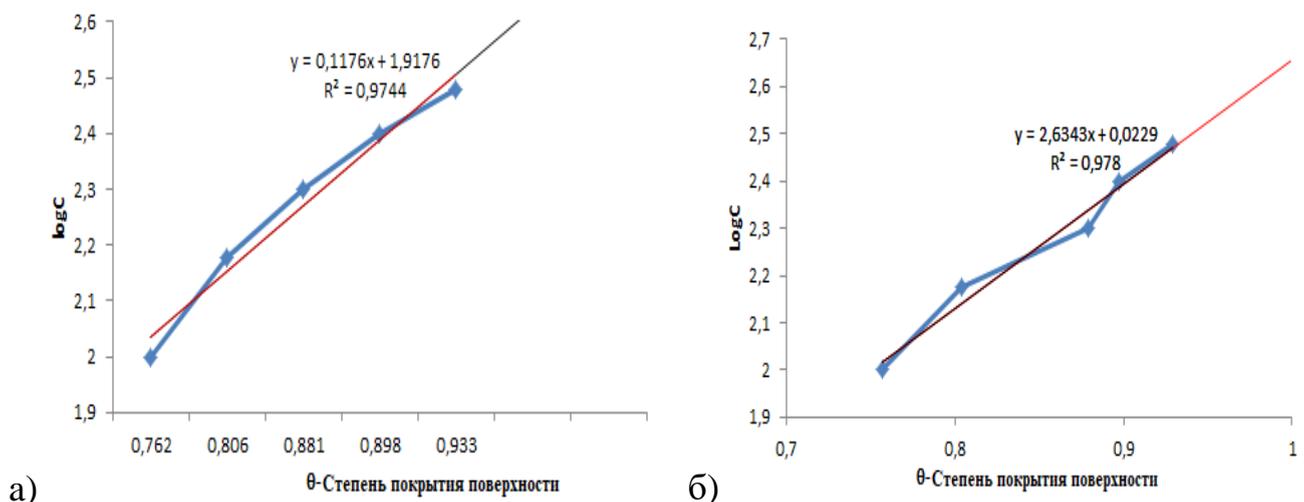
Адсорбционная изотерма Ленгмюра представляет собой особую математическую модель, используемую для описания адсорбционных явлений. Эта модель в основном применяется для объяснения равновесного состояния адсорбции и помогает определить характер связи адсорбата с поверхностью. Ингибитор ГХМА был исследован в диапазоне концентраций от 100 до 300 мг/л при температурах 343 К, 353 К и 363 К. Для проверки соответствия экспериментальных данных различным изотермам адсорбции были использованы соответствующие математические уравнения. Графическое изображение зависимости  $\log(C/\theta)$  от  $\log(C)$ , построенное при температурах 343 К, 353 К и 363 К, продемонстрировало линейную зависимость, как показано на рис 3.

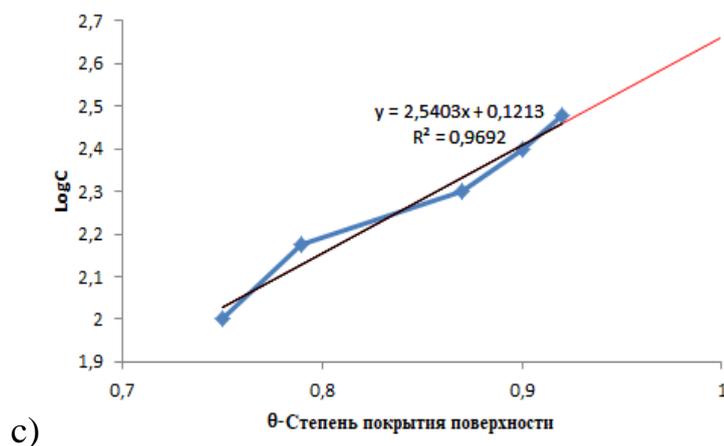


**Рис. 3. Изотермы адсорбции ГХМА на стальной поверхности по модели Ленгмюра при различных температурах: а – 343 К, б – 353 К, в – 363 К**

На основании результатов, полученных при этих температурах, значения  $R^2$  составляют 0,99875, 0,9833 и 0,99744, что показывает согласованность с изотермой адсорбции Ленгмюра.

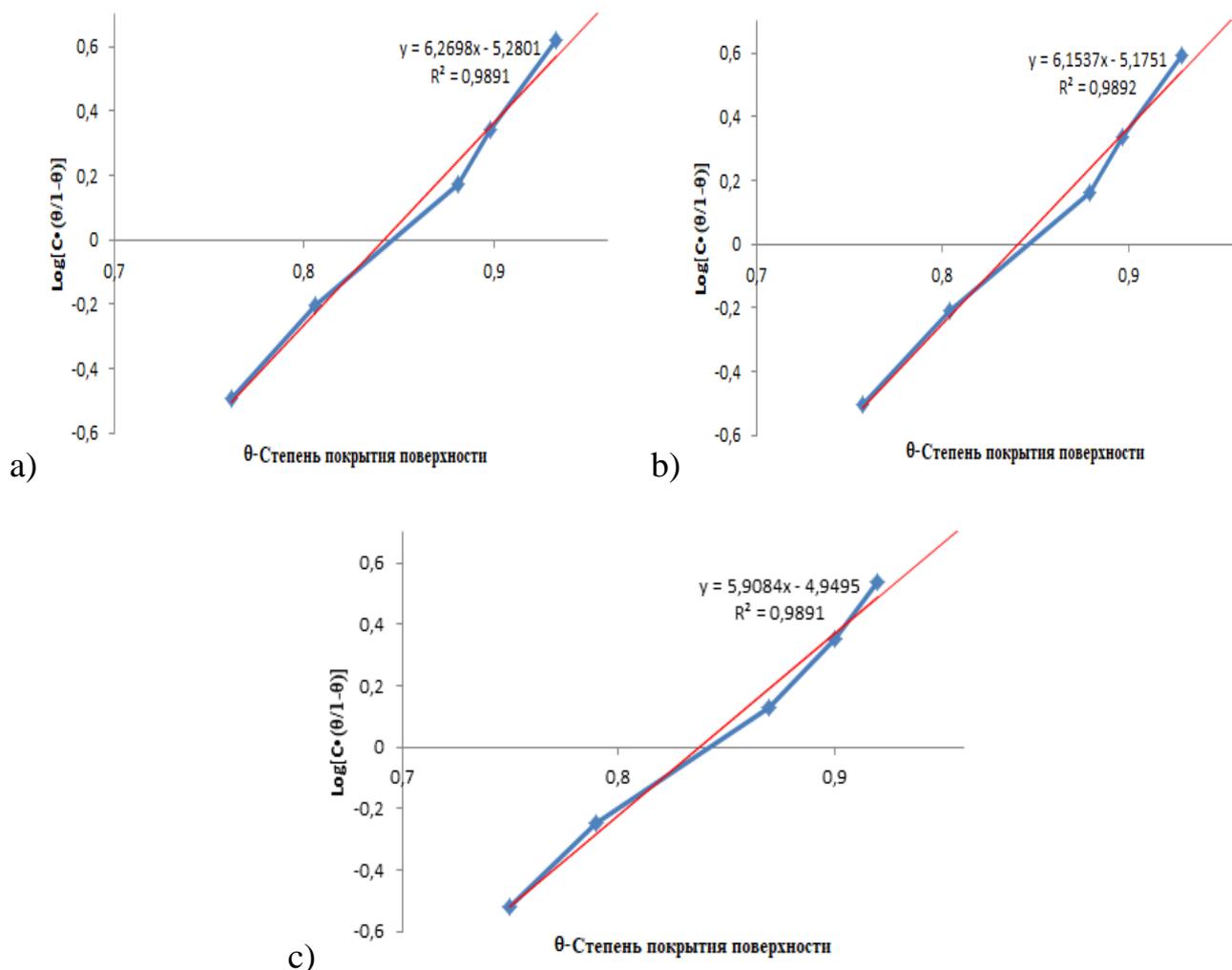
Графики зависимости « $\log C$ » от « $\theta$ » по модели адсорбции Тёмкина определены при трёх разных температурах, и значения  $R^2$  составляют 0,9744 при 343 К, 0,978 при 353 К и 0,9692 при 363 К, что подтверждает соответствие результатов процессу состоянию изотермы (рис. 4-а,б,в).





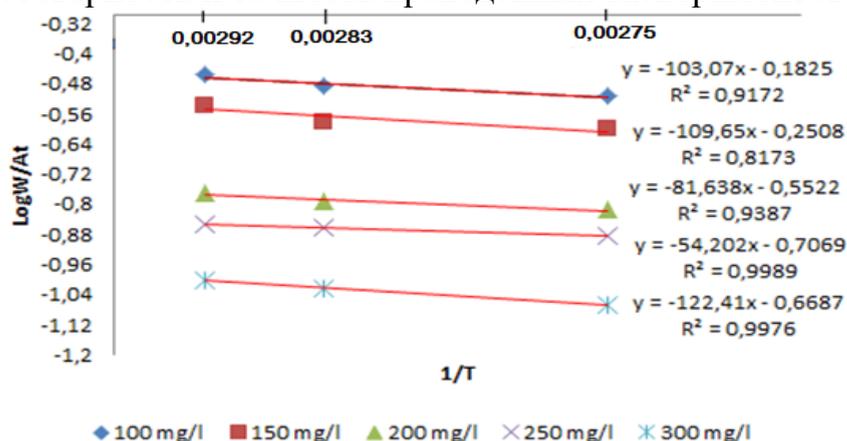
**Рис. 4. Изотермы адсорбции ингибитора ГХМА на стальной поверхности по модели Тёмкина при различных температурах: а – 343 К, b – 353 К, с – 363 К**

На изотерме Фрумкина значения  $R^2$  на графиках « $\log[C \cdot (\theta/1-\theta)]$ » от « $\theta$ » составляют 0,9891 при 343 К, 0,9892 при 353 К и 0,9691 при 363 К, что подтверждает соответствие результатов процесса состоянию изотермы (рис 5- а, b, c).



**Рис. 5. Изотермы адсорбции ГХМА на стальной поверхности по модели Фрумкина при различных температурах: а – 343 К, b – 353 К, с – 363 К**

При изучении механизма действия ингибитора коррозии важное значение имеет термодинамическое состояние системы. В связи с этим необходимо определить термодинамическую энергию системы при коррозии в условиях наличия и отсутствия ингибитора в различных концентрациях. На рисунке 6 показано изменение скорости коррозии ингибиторов при различных температурах и концентрациях. Полученные в исследованиях результаты показывают, что при концентрации ингибитора 300 мг/л значение коэффициента детерминации  $R^2$  составляет 0,9976, что подтверждает высокую достоверность и точность проведённых экспериментов.



**Рис. 6. График Аррениуса для определения энергии активации ингибитора коррозии ГХМА в агрессивной среде**

Проведённые исследования открывают путь к совершенствованию антикоррозионных стратегий и созданию новых эффективных ингибиторов. Было изучено влияние ингибитора коррозии на процесс коррозии образцов стали при температуре 343 К.

**Таблица 3**

**Значения энергии активации процесса коррозии образцов стали при различных концентрациях ГХМА при 343 К**

Концентрация ГХМА, мг/л	Термодинамические параметры				
	$E_a$ (кЖ/моль)	$\Delta H$ (кж/моль)	$\Delta S$ (Ж/мол·К <sup>-1</sup> )	Скорость коррозии (мм/год)	$E_a - \Delta H$ (кЖ/моль)
Без ингибитора, 15%-й HCl	29,52	26,67	-175,31	1,44	2,85
100	36,84	34,00	-168,11	0,34	2,84
150	38,65	35,81	-154,87	0,28	2,84
200	41,25	38,4	-140,95	0,17	2,85
250	44,31	41,46	-120,37	0,15	2,85
300	52,13	49,28	-101,54	0,096	2,85

Результаты таблицы 3 подтверждают, что антикоррозионная эффективность ингибитора гуанидинхлоридметилакрилата (ГХМА) в кислых средах напрямую зависит от его концентрации. В исследованиях наибольшая

эффективность была зафиксирована при концентрации ГХМА 300 мг/л, при которой энергия активации процесса ингибирования достигла 52,13 кДж/моль. На основании полученных данных установлено, что энергия активации ( $E_a$ ) в растворе без ингибитора составляла 29,52 кДж/моль, тогда как при концентрации ингибитора 300 мг/л увеличилась до 52,13 кДж/моль. Это свидетельствует о том, что повышение концентрации ингибитора приводит к увеличению энергии активации, что в свою очередь замедляет процесс коррозии. Рост энергии активации подтверждает формирование защитного слоя на металлической поверхности, обусловленного действием ингибитора, и значительное замедление процесса коррозии.

Также на основании полученных результатов были рассчитаны термодинамические параметры адсорбции ингибитора и выяснен механизм процесса. Полученные результаты представлены в таблице 4.

**Таблица 4**

**Термодинамические параметры процесса адсорбции ингибитора ГХМА**

Температура	$K_{адс}$	$\Delta G_{адс}$ , кЖ/моль	$\Delta H_{адс}$ , кЖ/моль	$\Delta S_{адс}$ , (кЖ/моль•К)
343	46,53	-22,41	-12,31	29,44
353	43,67	-22,23		
363	38,46	-21,86		

Значения  $K_{адс}$  были рассчитаны на основе точек пересечения изотерм Ленгмюра. Полученные значения  $K_{адс}$  свидетельствуют о том, что процесс адсорбции ингибитора на поверхности металла преобладает над десорбцией. Из приведённых в таблице 4 данных видно, что значения термодинамического параметра  $\Delta G_{адс}$ , рассчитанные в диапазоне температур 343–363 К, являются отрицательными и лежат в пределах от –21,86 кДж/моль до –22,41 кДж/моль. Это подтверждает, что адсорбция ингибитора коррозии на металлической поверхности происходит самопроизвольно.

В четвёртой главе диссертации, озаглавленной **«Практическое применение полученных веществ в производстве и их технологические возможности»**, исследованы антикоррозионные свойства продуктов на основе гуанидинхлорида, метанала и акриловой кислоты, дана характеристика практического применения синтезированных ингибиторов коррозии в производстве, описана технология синтеза и производства ингибиторов коррозии, содержащих донорные атомы. Также в главе представлены расчёты экономической эффективности процесса производства ГХМА и проведено сравнение его свойств с импортными ингибиторами.

Из отходов предприятия АО «Навоизот» методом охлаждения успешно выделен роданид гуанидина. Учитывая наличие дополнительных примесей в выделенном веществе, роданид гуанидина подвергался обработке концентрированной (34–36%) соляной кислотой в реакторе R1. В ходе данного процесса температура строго контролировалась и поддерживалась в диапазоне 30–35°C. При обработке соляной кислотой примеси, присутствующие в веществе, выделялись в виде осадка и осаждались на дно реактора. Одновременно в растворе образовывались избыток соляной

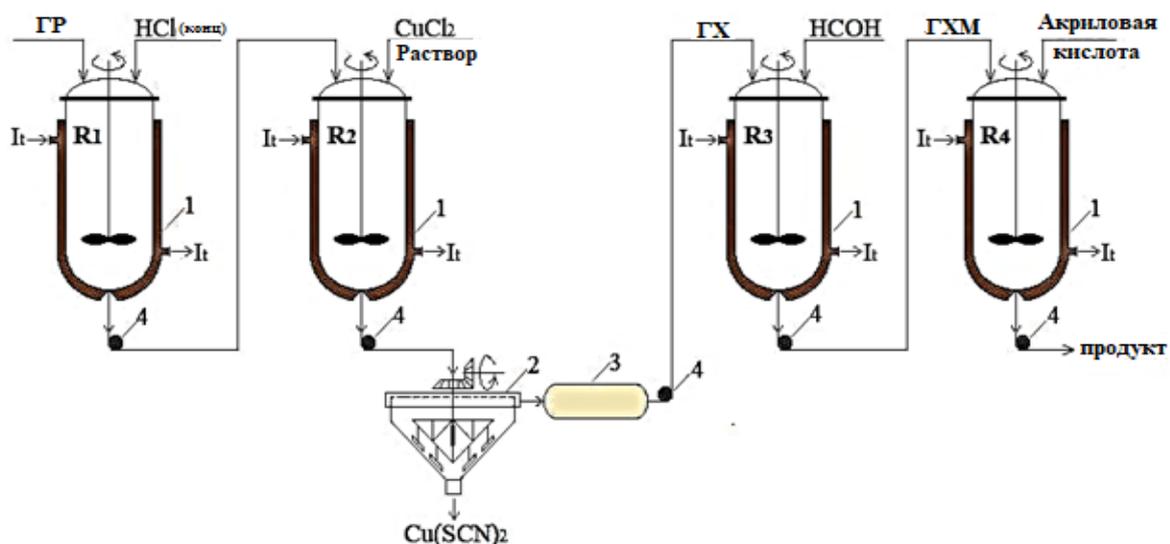
кислоты, роданистоводородная кислота и хлорид гуанидина. Полученный осадок отделяли перед переходом к следующей стадии. В результате данного процесса была получена чистая форма раствора хлорида гуанидина и других химических компонентов, подготовленных для дальнейшего анализа и последующей переработки.

На следующем этапе выделенный фильтрат направляется в реактор R2, где подвергается обработке раствором хлорида меди (II) ( $\text{CuCl}_2$ ). Процесс ведётся при контролируемых условиях до прекращения выпадения осадка в реакционной смеси. В результате химического взаимодействия образуется осадок роданида меди (II) ( $\text{Cu}(\text{SCN})_2$ ) тёмно-коричневого цвета, который отделяется от раствора. Оставшийся после осаждения раствор содержит хлорид гуанидина и подготавливается к следующему этапу обработки.

В реакторе R3 раствор хлорида гуанидина обрабатывается 38–40%-ным раствором метанала. Процесс проводится в температурном интервале 50–60°C до полного осаждения диметилола хлорида гуанидина (ГХДМ). Выпавший осадок ГХДМ отделяется от раствора и подготавливается для дальнейших химических процессов или практического использования.

Каждый этап технологического процесса осуществляется под строгим контролем с целью повышения эффективности, снижения уровня отходов и обеспечения высокого качества продукции. Благодаря этому обеспечивается бесперебойная и экономически эффективная реализация всей технологической цепочки производства производных гуанидина.

На следующем этапе полученный гомогенный раствор монометилола хлорида гуанидина (ГХМ) направляется в реактор R4, где вступает в реакцию с акриловой кислотой. Для активации и ускорения реакции этерификации в качестве катализатора используется концентрированная серная кислота. Процесс проводится при стабильной температуре 70–75°C, что считается оптимальным температурным режимом для данной реакции.



**Рис. 7. Принципиальная технологическая схема получения ингибитора коррозии ГХМА. 1 – реактор; 2 – отстойник; 3 – ёмкость; 4 – насосы**

В результате взаимодействия с акриловой кислотой синтезируется гуанидинхлорид монометилакрилат (ГХМА). Полученный продукт

выводится из нижней части реактора R4 в виде гомогенного раствора. Концентрация готового раствора составляет в среднем 50–63%, что делает его пригодным как для дальнейшей переработки, так и для непосредственного применения.

Все этапы процесса тщательно контролируются, а технологические условия специально оптимизированы для получения высококачественного продукта ГХМА (рисунок 7).

При проведении испытаний в центральной лаборатории Мубаракского нефтегазодобывающего управления были получены следующие результаты.:

- Достигнуто снижение воздействия агрессивной среды на стали марок Ст20 и 09Г2С;

- Существенно снизилась скорость коррозии в результате смешанного механизма адсорбции ингибитора коррозии на поверхности стали.;

- При определении ингибирующей эффективности методом гравиметрии, защитная эффективность составила 93,4% для стали Ст20 и 93,2% для стали 09Г2С;

- Вещество ГХМА соответствует требованиям стандарта NGH 39.0-051:2007 для применения в нефтяной и газовой промышленности как ингибитора коррозии (таблица 5).

**Таблица 5**

**Результаты коррозионных испытаний, проведённых в соответствии с NGH (RH) 39.0-051:2007**

Марки сталей, использованные в эксперименте:	Определённая степень защиты от коррозии в ходе эксперимента (%):	Соответствие требованиям NGH (RH) 39.0-051:2007:
Ст20	93,4	Соответствует
09Г2С	93,2	Соответствует

Испытания показали, что его качество не уступает или превосходит зарубежные аналоги. Ингибитор коррозии ГХМА сравнивался с ингибитором Pachen C101, рекомендованным для кислых сред. Результаты представлены в таблице 6.

**Таблица 6**

**Результаты испытаний ингибиторов коррозии ГХМА и Pachen-C101 в рабочем растворе (15% раствор HCl) при 343 К в течение 300 часов**

Имя образца	Количество (мг/л)	Разница масс	Уровень защиты, %
Pachen-C101	100	0,0069	84,8
	150	0,0061	86,5
	200	0,0058	88,2
	300	0,0052	92,6
ГХМА	100	0,0058	85,5
	150	0,0051	87,2
	200	0,0041	88,6
	300	0,003	93,3

Как следует из представленной таблицы, результаты экспериментов, выполненных при температуре 343 К в течение до максимум 300 часов, показывают, что степень защиты при использовании ингибитора ГХМА в концентрации 300 мг/л составляет 93,3%, а при применении ингибитора RACHEM C101 – 92,6%, что указывает на высокий защитный эффект ингибитора ГХМА.

**Таблица 7**

**Структура стоимости ингибитора коррозии ГХМА**

№	Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, сум	Общая сумма, сум
1	ГХМА	кг	1000	19 353,562	19 353 562

Из таблицы 7 видно, что на производство 1 тонны ингибитора коррозии ГХМА затрачивается 19 353 562 сумов исходных материалов.

**Таблица 8**

**Структура стоимости зарубежных ингибиторов коррозии**

№	Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, сум	Общая сумма, сум
1	RACHEM-C101	кг	1000	24 587,150	24 587 150
2	PuRO-Tech <sup>R</sup> iChem 1011 A	кг	1000	29 558	29 558 089

Из таблицы 8 видно, что на производство 1 тонны ингибитора коррозии RACHEM-C101 затрачивается 24 587 150 сумов исходных материалов, а на производство 1 тонны ингибитора коррозии PuRO-Tech<sup>R</sup> iChem 1011 A – 29 558 089 сумов.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Получен новый ингибитор коррозии на основе акриловой кислоты, метанола, гуанидина и его роданидной соли, научно обоснована оптимальная среда синтеза, а также достигнуто увеличение выхода ГХМА при 75°C до 86,5%.

2. Современными методами анализа установлено, что синтезированный ингибитор коррозии имел скорость коррозии 0,086 г/м<sup>2</sup>•с, уровень защиты 93,3%, коэффициент торможения 15, а результаты, полученные из изотерм процесса адсорбции, свидетельствовали о физико-химической адсорбции на поверхности стали.

3. Было установлено, что при применении синтезированного ингибитора в рабочих растворах и кислых средах, используемых в процессе добычи нефти и газа, его эффективность достигает 93,3%.

4. Показано, что при применении синтезированного ингибитора в нефтегазодобыче и в различных кислых средах сохраняется высокий уровень защиты, и что ингибитор на основе гуанидина ГХМА (степень защиты 93,3%) является более эффективным по сравнению с используемым в

производстве ингибитором коррозии PACHEM-C101 (степень защиты 92,6%).

5. Значения  $R^2$ , полученные из адсорбционных изотерм (0,99875; 0,9833 и 0,99744), свидетельствуют о высокой степени соответствия модели Ленгмюра и подтверждают, что физико-химическая адсорбция между ионами железа на поверхности стали и донорными атомами ингибитора носит мономолекулярный характер. В связи с этим, синтезированный ингибитор ГХМА рекомендуется в качестве ингибитора коррозии для кислых вод с высокой коррозионной агрессивностью к стальному оборудованию.

6. В результате исследований была разработана технология синтеза коррозионного ингибитора на основе метаналля, акриловой кислоты, гуанидина роданида и гуанидина хлорида, проведены его испытания в лаборатории ООО «Мубаракское нефтегазоразведочное управление», и признано целесообразным его применение для предотвращения коррозии в кислых средах. Показано, что при замене промышленного коррозионного ингибитора PACHEM-C101 на коррозионный ингибитор ГХМА на основе гуанидина чистая экономическая выгода от 1 тонны продукции составляет 5 223 588 сум, а при замене ингибитора PuRO-TechR iChem 1011 A – 10 204 527 сум.

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

---

**BUKHARA STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**GAFUROVA GULNOZ**

**SYNTHESIS, TECHNOLOGY, AND STUDY OF ADSORPTION OF  
GUANIDINE DERIVATIVE-BASED INHIBITORS ON METALS**

**02.00.11 – Colloid and membrane chemistry**

**DISSERTATION ABSTRACT  
of doctor of philosophy (PhD) IN TECHNICAL SCIENCES**

**Bukhara – 2025**

The theme of PhD dissertation is registered with the Higher Attestation Commission of the Ministry of Higher Education, Science and Innovations of the Republic of Uzbekistan numbered B2025.2. PhD/T4591.

The dissertation was completed at the Bukhara State Technical University

The dissertation abstract in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) is posted on the webpage of the Scientific Council ([www.bstu.uz](http://www.bstu.uz)) and on "Ziyonet" information and educational portal ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Scientific supervisor:**

**Olimov Bobir**

doctor of philosophy (PhD) in technical sciences,  
associate professor

**Official opponents:**

**Bozorov Gayrat**

doctor of technical sciences, professor

**Sanetullaev Ernazar**

doctor of philosophy (PhD) in technical sciences,  
associate professor

**Leading organization:**

**Navoi State university of mining and  
technology**

The defense of the dissertation will take place on December 4, 2025 at 11<sup>00</sup> at the meeting of Scientific Council DSc.03/28.02.2022. T.101.01 on awarding scientific degrees at the Bukhara State Technical University (Address: 15, K. Murtazaev street, 200117, Bukhara. Phone: (998 65) 223-78-84, Fax: (998 65) 223-78-84. e-mail: [bmti\\_info@edu.uz](mailto:bmti_info@edu.uz)).

The dissertation is available for review at the Information and Resource Center of Bukhara State Technical University (registered under number №400). Address: 15, K. Murtazaev street, 200117, Bukhara. Phone: (998 65) 223-78-84).

The dissertation abstract was distributed on November 19, 2025.

(Register of the protocol distribution No12 dated August 20, 2025)



**S.F. Fozilov**

Chairman of the Scientific council on  
awarding academic degrees, doctor of  
technical sciences, professor

**A.T. Oltiev**

Scientific secretary of the Scientific council  
on awarding of academic degrees, doctor of  
technical sciences, associate professor

**H.B. Dustov**

Chairman of the scientific seminar under the  
scientific council on awarding academic  
degrees, doctor of chemical sciences,  
professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

**The purpose of research** the synthesis, technology, and adsorption of guanidine derivative-based inhibitors to metals are based on this principle.

**The object of the research work is** guanidine thiocyanate, hydrochloric acid, methanal, acrylic acid, various inorganic catalysts and solvents.

**The scientific novelty of the research is as follows:**

a new composite corrosion inhibitor, based on acrylic acid, methanal, guanidine, and its thiocyanate salt, was synthesized, various optimal environments were selected, and the achievement of a reaction yield of 86.5% at a temperature of 75 °C was scientifically substantiated.

the Gibbs free energy values for the synthesized corrosion inhibitor were calculated, which were  $G = -21.86$  and  $-22.41$  kJ/mol, respectively, and it was scientifically substantiated that the adsorption of the inhibitor on the metal surface occurs spontaneously.

it was substantiated that with an increase in the concentration of the synthesized inhibitor during the adsorption process to 100–300 mg/L, the corrosion activation energy increases from 36.84 to 52.13 kJ/mol.

using the gravimetric method, it was scientifically substantiated that the corrosion rate is 0.096 mm/year, the degree of protection is 93.3%, the degree of complete surface coverage is 0.933, and the inhibition coefficient is 15;

a basic process flow diagram for producing the corrosion inhibitor GCMA (guanidine chloride methyl acrylate) based on a guanidine derivative has been developed.

**Implementation of research results.**

the corrosion inhibitor containing guanidine chloromethylacrylate is included in the “List of promising developments for implementation in 2025-2030” of “Olot Oil and Gas Exploration Expedition” LLC (Reference No. 56 of “Olot Oil and Gas Exploration Expedition” LLC dated January 31, 2025). As a result, when using the inhibitor, the adsorption of the inhibitor in water-oil emulsions occurs in a mixed mechanism, which allows increasing the corrosion protection efficiency to 93.4% for the St20 steel sample and up to 93.2% for the 09G2S grade;

inhibitors containing donor atoms are included in the “List of promising developments for implementation in 2025-2030” of “Mubarak Oil and Gas Exploration Department” LLC. (“Mubarak Oil and Gas Exploration "Directorate of the "Privacy and Security" LLC No. Po1/TB-2762 dated July 14, 2025). As a result, the average protection level of the guanidine chloromethyl acrylate corrosion inhibitor on steel grades St20 and St3 can be increased to 93.3%.

**The structure and volume of dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The total length of the dissertation is 113 pages.

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

**I bo'lim (I часть; part I)**

1. Gafurova G.A., Olimov B.B., Axmedov V.N. Production and use of corrosion inhibitors on the basis of two-atomic phenols and local raw materials. // Universum: химия и биология: электрон научн.журн. -2021. №11(89). P. 85-88. (02.00.00: №01)
2. Gafurova G.A., Olimov B.B., Axmedov V.N., Rahmatov Sh.Sh. Synthesis and properties of nitrogen-retaining corrosion inhibitors. // Universum: химия и биология электрон научн.журн. -2022: №4 (94). pp. -42-46. (02.00.00; №01).
3. Gafurova G.A., Olimov B.B., Qudratov O.X. Production and properties of corrosion inhibitors in the oil and gas industry. // Universum: химия и биология электрон научн.журн.-2022 № 2(92). pp. -128-132. (02.00.00; №01).
4. Gafurova G.A., Olimov B.B., Axmedov V.N. HCl-HF eritmalarida guanidin-rodanid hosilalarining ingibitorlik xossalari bo'yicha eksperimental va fizik-kimyoviy tadqiqotlar. // Fan va texnologiyalar taraqqiyoti. Ilmiy-texnikaviy jurnal. -2024. №2, -120-125 b. (02.00.00; №14).
5. Gafurova G.A., Olimov B.B. The colloidal-chemical basis of the effect of inhibitors on the corrosion rate of various steel samples. // Universum: химия и биология. электрон научн.журн.-2025 № 2(128). pp.- 26-30. (02.00.00; №01).
6. Gafurova G.A., Olimov B.B. Guanidin asosida sintezlangan "GXMA" moddasining tuzilishini tadqiq etish. // Development of science. Ilmiy jurnal. 2025/2, Volume 1. -132-136 b. (02.00.00. OAK Rayosatining 2024-yil 27-sentyabrdagi 361-son qarori).
7. Gafurova G.A., Olimov B.B. Technology for the production of a corrosion inhibitor based on guanidine and local raw materials. // Universum: технические науки. электрон научн.журн.-2025 № 4(133). pp. -26-38. (02.00.00; №01).
8. Gafurova G.A., Olimov B.B. Investigation of the inhibitory and colloidchemical properties of GXMA (guanidine chloride methylacrylate) synthesized on the basis of guanidine // The Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, No 3 – 4. pp.-21-27. (02.00.00; №02).

**II bo'lim (II часть; part II)**

9. Gafurova G.A., Axmedov V.N., Fayzullayev N.I., Metallarni korroziyaga sinash uchun dasturiy ta'minot" (elektron darslik) O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellectual mulk agentligining guvohnomasi. DGU 41820. 07.08.2024.
10. Gafurova G.A., Olimov B.B., Olimov A.B. Corrosion inhibitor properties synthesized on the basis of guanidine. // «Kimyoning dolzarb muammolari» mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari. 21-22-iyun) Urganch: -2024. -408-410 b.
11. Gafurova G.A., Olimov B.B., Olimov A.B. Thermodynamic analysis of corrosion inhibitor properties. // «Kimyoning dolzarb muammolari» mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari. Urganch: -2024. -344-346 b.
12. Gafurova G.A. Neft sanoatida korroziya ingibitorlarining o'rni. // "Zamonaviy dunyoda innovatsion tadqiqotlar: Nazariya va amaliyot" nomli ilmiy, masofaviy, onlayn konferensiyalar to'plami. -2024.- 50-51 b.
13. Gafurova G.A., Niyozov E.D., Razzakov H.Q., Nazarov S.I., Olimov B.B.

Investigation of physicochemical properties of guanidine-based corrosion inhibitor. // E3S Web of Conferences 587, GreenEnergy -2024. pp. -1-5.

14. Gafurova G.A., Olimov B.B. Synthesis of GChMA and its infrared spectroscopic analysis. // Conference on the role and importance of science in the modern world. -2025. pp.-144-149.

15. Gafurova G.A., Olimov B.B. Chromato-mass spectrometric analysis of guanidinium chloride methyl acrylate. // Scientific paradigm in the context of technologies and society development. Geneva, Switzerland. -2025. pp. -415-419.

16. Gafurova G.A., Olimov B.B. Guanidin asosidagi korroziya ingibitori adsorbsiya jarayoni termodinamik parametrlari tahlili. // Kimyo fanining muammolari, sanoat sohalariga tatbiqi va yashil texnologiyalar mavzusidagi xalqaro anjuman. -Namangan: -2025.-860-861 b.

17. Gafurova G.A., Olimov B.B. Guanidin asosidagi korroziya ingibitorining fizik-kimyoviy tadqiqi. // Kimyo fanining muammolari, sanoat sohalariga tatbiqi va yashil texnologiyalar mavzusidagi xalqaro anjuman. Namangan: 2025. -862-864 b.

Avtoreferat "Buxoro" nashriyatida tahrirdan o'tkazildi hamda o'zbek, rus va ingliz tillaridagi variantlarning mosligi tekshirildi.



Bosishga ruxsat etildi: 18.11.2025-yil. Bichimi 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>,  
"Times New Roman" garniturada raqamli bosma usulida bosildi.  
Shartli bosma tabog'i 3. Adadi: 100 nusxa. Buyurtma № 369.

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