

IKKILAMCHI POLIETILENTEREFTALAT HOSILASI ASOSIDAGI AZOMETINNING St20 PO‘LATNI KORROZIYADAN HIMOYALASH XOSSALARI

Jaxongir Boymurodovich Normurotov¹, O‘ral Choriyevich Axmedov²

¹*Kimyo muhansidligi kafedrası, Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti, Termiz, O‘zbekiston*

²*Organik kimyo kafedrası, Termiz davlat universiteti, Termiz, O‘zbekiston*
Mas‘ul muallif: jahongirnurmurotov1310@gmail.com

Annotatsiya. p-Fenilendiamin va p-dimetilaminobenzaldegidning kondensatsiyasi orqali sintez qilingan N,N'-bis(4-(dimetilamino)benziliden)-1,4-fenilendiamin (SB-1) ning St20 uglerodli po‘lat korroziyasiga qarshi himoya xossalari o‘rganildi. Birikmaning sintez yo‘li va strukturaviy xususiyatlari, 1,0 M HCl muhitidagi gravimetrik hamda potentiodynamik polarizatsiya natijalari, shuningdek po‘lat sirtining makroskopik va atom-kuch mikroskopik holati o‘zaro bog‘liq holda tahlil qilindi. 150 mg·L⁻¹ SB-1 mavjudligida potentiodynamik polarizatsiya bo‘yicha himoya samaradorligi 95,79% ga yetdi. Gravimetrik tajribalarda shu konsentratsiyada 303–333 K oralig‘ida 91,96–95,18% himoya samaradorligi qayd etildi. Natijalar azometin va dimetilamino azot markazlari hamda konyugatsiyalangan aromatik π -tizimning metall–eritma chegarasidagi adsorbsion o‘zaro ta’sirlarga hissa qo‘shishi mumkinligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: azometin birikma; St20 po‘lat; korroziya ingibitori; potentiodynamik polarizatsiya.

Аннотация. Исследованы защитные свойства N,N'-бис(4-(диметиламино)бензилиден)-1,4-фенилендиамина (SB-1), синтезированного конденсацией п-фенилендиамина с п-диметиламинобензальдегидом, при коррозии углеродистой стали St20. Синтез и структурные особенности соединения рассмотрены совместно с гравиметрическими и потенциодинамическими данными в 1,0 М HCl, а также с наблюдениями состояния поверхности стали. При 150 мг·л⁻¹ эффективность ингибирования по данным потенциодинамической поляризации составила 95,79%, а гравиметрическая эффективность в диапазоне 303–333 К достигала 91,96–95,18%.

Ключевые слова: азометиновое соединение; сталь St20; ингибитор коррозии; потенциодинамическая поляризация.

Abstract. The corrosion-protective properties of N,N'-bis(4-(dimethylamino)benzylidene)-1,4-phenylenediamine (SB-1), synthesized by condensation of p-phenylenediamine with p-dimethylaminobenzaldehyde, were investigated for St20 carbon

steel. The synthesis route and structural features were discussed together with gravimetric and potentiodynamic polarization data in 1.0 M HCl and complementary observations of the steel surface. At 150 mg·L⁻¹, the inhibition efficiency reached 95.79% by potentiodynamic polarization. Gravimetric tests at the same concentration gave efficiencies of 91.96–95.18% over 303–333 K. The results support the contribution of azomethine/amine nitrogen centers and the conjugated aromatic π -system to adsorption-related interfacial protection.

Keywords: azomethine compound; St20 carbon steel; corrosion inhibitor; potentiodynamic polarization.

Kirish. Uglerodli po‘latlar kimyo, energetika, neft-gaz va mashinasozlik qurilmalarida keng qo‘llanadi, biroq xlorid kislotali texnologik muhitlarda ularning anod erishi tezlashadi. Organik korroziya ingibitorlari metall–eritma chegarasida adsorbsiyalanib, faol anod va katod uchastkalarining bir qismini to‘sishi orqali korroziya tezligini kamaytirishi mumkin. Azometin (–C=N–) guruhlarini saqllovchi Schiff asoslari donor azot markazlari va konyugatsiyalangan aromatik tizimlarni bir molekulada birlashtirishi sababli kislotali muhitlar uchun istiqbolli ingibitorlar sinfiga kiradi.¹

SB-1 molekulasida ikkita azometin bog‘i, ikkita dimetilamino fragmenti va uchta aromatik halqa mavjud. Bunday tuzilish metall sirtiga yaqinlashish, sirt bilan ko‘p markazli o‘zaro ta’sirlashish va nisbatan katta maydonni qoplash uchun qulay molekulyar platforma yaratishi mumkin. Mazkur ishning maqsadi SB-1 ning sintez yo‘li va strukturaviy belgilarini uning St20 po‘latni 1,0 M HCl muhitida himoyalash samaradorligi bilan bog‘liq holda tahlil qilish, konsentratsiya hamda harorat ta’sirini baholash va sirt kuzatuvlari bilan to‘ldirishdan iborat.

Materiallar va tadqiqot usullari. Tajribalarda St20 markali uglerodli po‘lat qo‘llanildi. Namuna sirlari SiC abraziv qog‘ozlari bilan silliqlanib, distillangan suv va organik erituvchi bilan tozalandi. Korrozion muhit sifatida 36,5 mass.% HCl ni distillangan suv bilan suyultirish orqali tayyorlangan 1,0 M HCl eritmasidan foydalanildi.

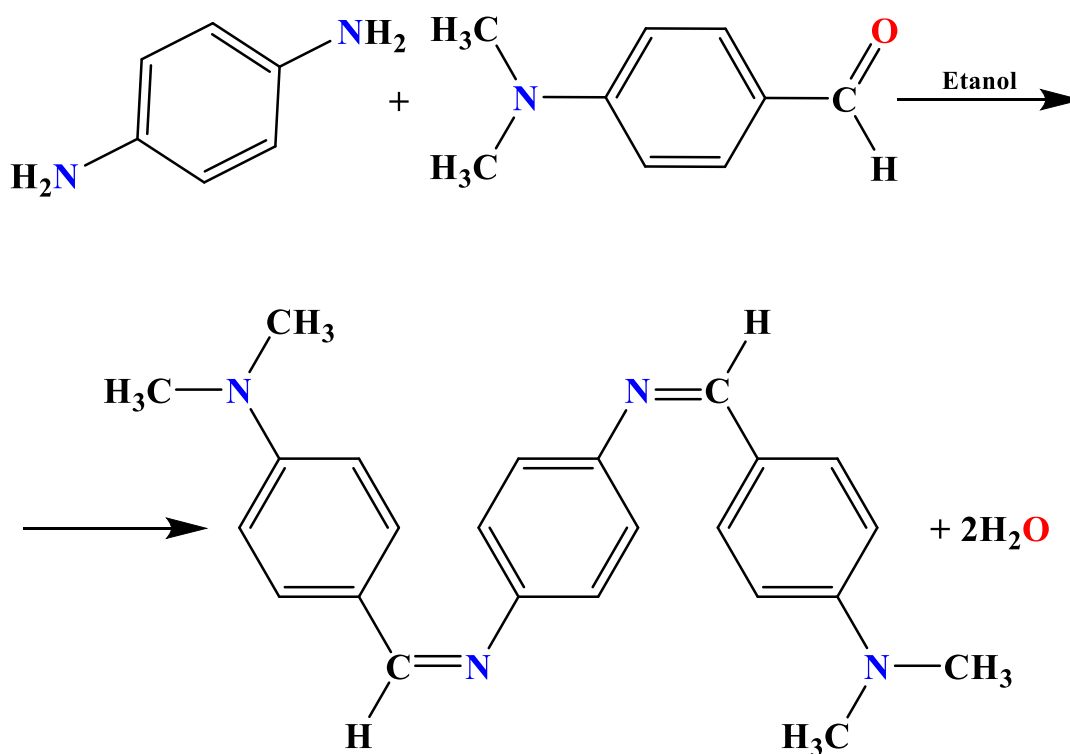
SB-1 birikmasining sintezi va identifikatsiyasi. SB-1 p-fenilendiamin va p-dimetilaminobenzaldegidning 1:2 mol nisbatdagi kondensatsiyasi orqali absolyut etanolda, muz sirka kislotasi katalizatorligida sintez qilindi. Reaksiyon aralashma 78–80 °C da 1 soat ushlab turildi. Hosil bo‘lgan sariq kristall mahsulot vakuum filtrlash bilan ajratildi, sovuq etanol bilan yuvildi va 60 °C da vakuumda quritildi. Mahsulot chiqishi 95,45% ni tashkil etdi. Molekulyar tuzilish FT-IR, ¹H NMR, ¹³C NMR, HSQC, HMBC, DEPT va ¹H–¹⁵N HMBC usullari yordamida tavsiflangan.²

¹ Boughoues Y., Benamira M., Messaadi L., Ribouh N. Experimental and theoretical investigations of four amine derivatives as effective corrosion inhibitors for mild steel in HCl medium. RSC Advances. 2020. Vol. 10. P. 24145–24158. DOI: 10.1039/D0RA03560B.

² Normurotov J.B., Akhmedov U.Ch., Karimov M.U. et al. Synthesis, spectroscopic characterization, and corrosion inhibition performance of a novel Schiff base for carbon steel in hydrochloric acid. International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2026. Vol. 15, No. 3. P. 567–581. DOI: 10.17675/2305-6894-2026-15-3-26.



1-rasm. SB-1 sintezi bo'yicha laboratoriya tajribasining umumiy ko'rinishi.



2-rasm. *p*-Fenilendiamin va *p*-dimetilaminobenzaldegiddan SB-1 hosil bo'lishining umumiy reaksiya sxemasi.

Reaksiya sxemasida *p*-fenilendiaminning ikkala birlamchi amino guruhi ikki molekula *p*-dimetilaminobenzaldegidning karbonil guruhlari bilan kondensatsiyalanadi. Suv ajralishi natijasida ikkita azometin (C=N) bog'i hosil bo'lib, markaziy *p*-fenilendiamin halqasini dimetilamino guruhli aromatik fragmentlar bilan bog'laydi. Ushbu sxema sintezning umumiy stexiometrik yo'nalishini ifodalaydi; bosqichma-bosqich mexanistik oraliq mahsulotlar mazkur ishda alohida aniqlanmagan.

Gravimetrik baholash. Gravimetrik sinovlarda $2,5 \times 2,5 \times 0,2$ cm o'lchamdagi po'lat namunalar ingibitorsiz va $50\text{--}150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ SB-1 saqlagan $1,0 \text{ M}$ HCl eritmalarida 72 soat

davomida ushlab turildi. Korroziya tezligi va himoya samaradorligi quyidagi tenglamalar bo‘yicha hisoblandi:

$$CR = \frac{\Delta m}{A \cdot t} = \frac{m_0 - m_1}{A \cdot t} \quad (1)$$

$$\eta_{WL}(\%) = \frac{CR_0 - CR_{inh}}{CR_0} \times 100 \quad (2)$$

Potentiodynamik polarizatsiya. Potentiodynamik polarizatsiya o‘lchovlari CS-350 elektrokimyoviy stansiyasida bajarildi. Ochiq zanjir potentsiali barqarorlashgach, egri chiziqlar OCP ga nisbatan -250 dan $+250$ mV gacha $1 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$ tezlikda qayd etildi. Elektrokimyoviy himoya samaradorligi korroziya toki zichliklari nisbatidan hisoblandi:

$$\eta_{PDP}(\%) = \frac{i_{corr,0} - i_{corr,inh}}{i_{corr,0}} \times 100 \quad (3)$$

Sirt holatini baholash. St20 po‘lat sirtining tajribagacha bo‘lgan holati, ingibitorsiz texnik suvdan keyingi holati va ingibitor ishtirokidagi texnik suvdan keyingi holati makroskopik tasvirlar orqali qiyoslandi. Alohida nazorat tajribasida ingibitorsiz $1,0 \text{ M HCl}$ ta’siridan keyingi St20 sirt morfologiyasi atom-kuch mikroskopiyasi (AFM) bilan o‘rganildi. AFM bo‘yicha R_a va R_q kabi g‘adir-budurlik parametrlarining sonli qiymatlari mavjud bo‘lmagani sababli tasvir sifat morfologik tahlil uchun qo‘llanildi.

Natijalar va muhokama. FT-IR spektrida 1643 cm^{-1} dagi yutilish $\text{C}=\text{N}$ azometin bog‘ining valent tebranishiga mos keladi. 2853 cm^{-1} sohadagi signal $\text{N}(\text{CH}_3)_2$ fragmentlarining $\text{C}-\text{H}$ tebranishlariga, 1547 va 1517 cm^{-1} dagi signallar esa aromatik skelet hamda $\text{C}-\text{N}$ tebranishlariga tegishli. ^1H NMR spektrida $\text{CH}=\text{N}$ protonlari $8,3-8,5 \text{ ppm}$, aromatik protonlar $6,7-7,8 \text{ ppm}$ va $\text{N}(\text{CH}_3)_2$ protonlari taxminan $3,0 \text{ ppm}$ da qayd etilgan; ^{13}C NMR da azometin uglerodiga tegishli signal $166,95 \text{ ppm}$ da kuzatilgan. Bu spektral belgilar 2-rasmda ko‘rsatilgan diimin tuzilmaning hosil bo‘lishini qo‘llab-quvvatlaydi.

1-jadval.

Elektrokimyoviy natijalar

SB-1, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	i_{corr} , $\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$	η_{PDP} , %
Ingibitorsiz	75,20	—
50	8,21	89,08
75	6,14	91,84
100	3,78	94,97
150	3,16	95,79

1-jadval. St20 po‘latining $1,0 \text{ M HCl}$ muhitidagi potentiodynamik polarizatsiya ko‘rsatkichlari.

Ingibitorsiz eritmada korroziya toki zichligi $75,20 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ ni tashkil etdi. $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ SB-1 qo‘shilganda i_{corr} $8,21 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ gacha kamaydi va $89,08\%$ himoya samaradorligi qayd etildi. Konsentratsiyani $150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ gacha oshirish i_{corr} ni $3,16 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ gacha pasaytirib, η_{PDP} ni $95,79\%$ ga yetkazdi. Mazkur konsentratsiyaviy tendensiya sirtning faol

korrozion uchastkalari ingibitor molekulari bilan tobora ko‘proq qoplanayotganiga mos keladi.³

2-jadval.

Haroratning gravimetrik samaradorlikka ta’siri

T, K	C, mg·L ⁻¹	CR, g·cm ⁻² ·h ⁻¹	η, %
303	50	0,292	76,61
303	75	0,226	81,94
303	100	0,135	89,23
303	150	0,100	91,96
313	50	0,341	77,12
313	75	0,256	82,81
313	100	0,151	89,81
313	150	0,106	92,89
323	50	0,378	77,73
323	75	0,264	84,45
323	100	0,165	90,28
323	150	0,111	93,42
333	50	0,400	78,82
333	75	0,275	85,42
333	100	0,134	92,88
333	150	0,091	95,18

2-jadval. SB-1 konsentratsiyasi va haroratning gravimetrik korroziya ko‘rsatkichlariga ta’siri.

Barcha o‘rganilgan haroratlarda SB-1 konsentratsiyasining ortishi korroziya tezligini kamaytirdi. 150 mg·L⁻¹ da himoya samaradorligi 303, 313, 323 va 333 K da mos ravishda 91,96; 92,89; 93,42 va 95,18% ni tashkil etdi. Tekshirilgan diapazonda harorat ortishi bilan samaradorlikning pasaymasdan, aksincha biroz oshishi kuzatildi; bu natija aynan mazkur tajriba sharoitlari uchun qayd etilgan empirik tendensiya sifatida talqin qilindi.

St20 po‘lat sirtining makroskopik holati. Mikroskopik kuzatuvlar korrozion ta’sirning sirt bo‘yicha ifodalanishini sifat jihatdan baholashga xizmat qiladi. Tajribagacha bo‘lgan namuna nisbatan bir tekis sirt bilan tavsiflanadi. Ingibitorsiz texnik suvdan keyin rang va sirt bir jinsliligining o‘zgarishi, lokal korrozion izlar ko‘proq namoyon bo‘ladi. Ingibitor ishtirokidagi texnik suvdan keyingi namunaning tashqi holati nisbatan yaxshi saqlangan. Ushbu fotosuratlar miqdoriy korroziya tezligini bermaydi, lekin sirt holati bo‘yicha qo‘shimcha sifat ma’lumoti beradi.

³ Normurotov J.B., Akhmedov U.Ch., Karimov M.U. et al. Synthesis, spectroscopic characterization, and corrosion inhibition performance of a novel Schiff base for carbon steel in hydrochloric acid. International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2026. Vol. 15, No. 3. P. 567–581. DOI: 10.17675/2305-6894-2026-15-3-26.



3A-rasm. St20 po‘lat namunasining tajribadan oldingi holati.



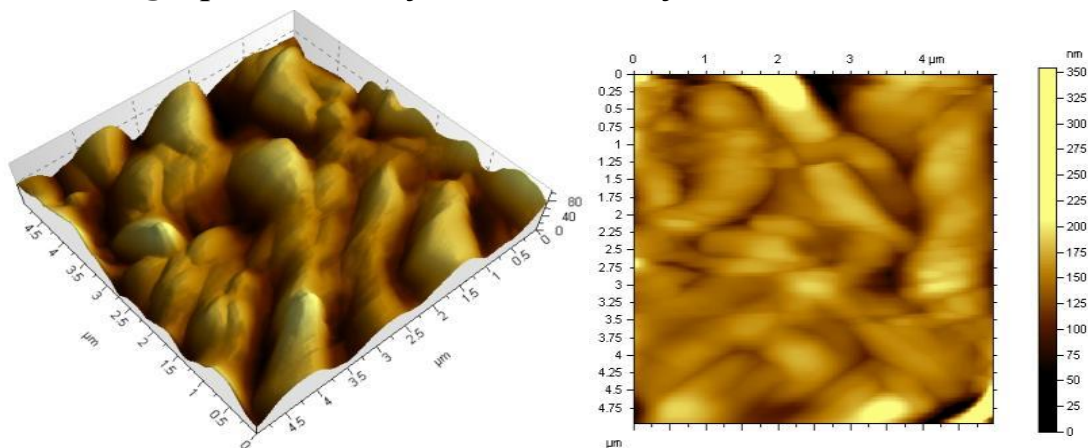
3B-rasm. St20 po‘lat namunasining ingibitorsiz texnik suv muhitidan keyingi holati.



3C-rasm. St20 po‘lat namunasining ingibitor ishtirokidagi texnik suv muhitidan keyingi holati.

3A–3C-rasmlar texnik suv sharoitidagi sifat kuzatuvlarini aks ettiradi; ular 1,0 M HCl da olingan elektrokimyoviy va gravimetrik sonlarning bevosita morfologik ekvivalenti sifatida qaralmadi. Turli muhitlardan olingan natijalar SB-1 ning sirtini himoyalash xatti-harakatini turli nuqtai nazardan to‘ldiradi.

Ingibitorsiz 1,0 M HCl dan keyingi AFM morfologiyasi



4-rasm. Inhibitorsiz 1,0 M HCl ta'siridan keyingi St20 po'lat sirtining AFM tasvirlari.

AFM tasvirida sirt relyefining bir jinsli emasligi, turli balandlikdagi uchastkalar va murakkab mikro-/nanotopografiya kuzatiladi. Bu morfologik holat inhibitorsiz kislotali muhitdagi korrozion yemirilish fonini tavsiflaydi. Inhibitorli AFM tasviri hamda Ra, Rq kabi sonli parametrlar mavjud bo'lmagani uchun SB-1 ta'sirida g'adir-budurlikning aniq foizli kamayishi haqida xulosa chiqarilmadi.

SB-1 ning ehtimoliy himoya mexanizmi. SB-1 ning yuqori samaradorligi uning molekulyar tuzilishi bilan izohlanishi mumkin. Kislotali eritmada azot markazlarining bir qismi protonlangan holatda bo'lishi ehtimol, neytral va protonlangan shakllarning sirtga yaqinlashishi esa eritma tarkibi hamda metallning zaryad holatiga bog'liq.⁴ Azometin azoti, dimetilamino azot atomlari va aromatik π -elektron tizimlar metall–eritma chegarasidagi adsorbsion o'zaro ta'sirlarga hissa qo'shishi mumkin. Sirt qoplanishi natijasida agressiv H^+ va Cl^- zarrachalarining faol uchastkalarga kirishi cheklanib, temirning anod erishi hamda katod reaksiyalari sekinlashadi. Biroq ma'lum bir Fe–N koordinatsion bog'ning hosil bo'lishi mazkur sirt ma'lumotlari bilan bevosita isbotlanmagan.⁵

Xulosa. p-Fenilendiamin va p-dimetilaminobenzaldegidning 1:2 kondensatsiyasi orqali SB-1 azometin birikmasi yuqori, 95,45% mahsulot chiqishi bilan olingan. Reaksiya natijasida hosil bo'lgan diimin tuzilma FT-IR va NMR spektral belgilar bilan qo'llab-quvvatlanadi. SB-1 ning 1,0 M HCl dagi konsentratsiyasi 50 dan 150 $mg \cdot L^{-1}$ gacha oshirilganda korroziya toki zichligi 8,21 dan 3,16 $mA \cdot cm^{-2}$ gacha kamayib, potentiodynamik himoya samaradorligi 89,08 dan 95,79% gacha oshdi. Gravimetrik sinovlarda 150 $mg \cdot L^{-1}$ konsentratsiya uchun 303–333 K oralig'ida 91,96–95,18% himoya samaradorligi qayd etildi. Makroskopik kuzatuvlar va inhibitorsiz 1,0 M HCl dan keyingi AFM tasviri elektrokimyoviy hamda gravimetrik natijalarni sirt holati nuqtai nazaridan to'ldirdi. Olingan ma'lumotlar SB-1 ni St20 po'lat uchun istiqbolli azometin tabiatli organik korroziya inhibitori sifatida baholashga asos beradi.

⁴ Ashwini N., Shakeel Nawaz S., Ramakrishna D., Ranganatha S. Inhibition of mild steel corrosion by 4-[(benzylidene)-amino]-antipyrine. Results in Surfaces and Interfaces. 2024. Vol. 15. 100209. DOI: 10.1016/j.rsufi.2024.100209.

⁵ Herrag L., Hammouti B., Elkadiri S. et al. Adsorption properties and inhibition of mild steel corrosion in hydrochloric solution by some newly synthesized diamine derivatives. Corrosion Science. 2010. Vol. 52, No. 9. P. 3042–3051.