


УДК 547.78:620.197.3

¹Бондар О.С., к.т.н., доц.,  0000-0002-9612-0546;¹Курмакова І.М., д.т.н., проф.,  0000-0002-8916-654;²Макей О.П., науковий співробітник,  0009-0001-9675-8208.

ПОХІДНІ АМІНО-1,2,4-ОКСАДІАЗОЛУ: СИНТЕЗ, СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ

¹Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка²ТОВ НВП «Укроргсинтез»

e-mail: bondar4elena@gmail.com

Синтезовано нові похідні аміно-1,2,4-оксадіазолу та досліджено їх інгібувальні властивості щодо корозії конструкційної сталі у кислотному хлоридному середовищі в залежності від особливостей будови молекул. Для одержання 1,2,4-оксадіазол-3-амінів на першій стадії синтезовано циклоалкілпохідні ацилціанаміду, які на наступній стадії з високими виходами були модифіковані при дії гідроксиламіну за наявності органічних основ. Для одержання 1,2,4-оксадіазол-5-амінів на першій стадії алкіламідоксими були перетворені у 5-трихлорометил-1,2,4-оксадіазоли, які на другій стадії з помірними виходами модифіковані при дії амоніаку. Просторова будова нових сполук підтверджена методом ПМР та візуалізована шляхом побудови 3D моделей; розраховано розподіл зарядів на адсорбційно-реакційних центрах для найбільш вірогідних форм молекул в розчині 1М НСІ. Будова синтезованих похідних узгоджується з результатами дослідження протикорозійних властивостей. Більш перспективними для уповільнення кислотної корозії сталі 10 виявилися 5-(циклобутил)-1,2,4-оксадіазол-3-амін та 5-(циклопентил)-1,2,4-оксадіазол-3-амін, які при концентрації 20 ppm забезпечують ступінь захисту 92 % та 70 % відповідно.

Ключові слова: похідні аміно-1,2,4-оксадіазолу; синтез; інгібітори; кислотна корозія.

Похідні оксадіазолу привертають увагу, як перспективні сполуки для створення корисних продуктів у різних сферах застосування. На основі скаффолду 1,2,4-оксадіазолу створені комерційно доступні лікарські препарати Аталурен (для лікування м'язової дистрофії Дюшенна), Оксоламін та Преноксдіазин (проти кашлеві), Фазіплон (анксиолітик), Проксазол (спазмолітик) та ін [1]. Також похідні оксадіазолу активно досліджуються в якості інгібіторів кислотної корозії вуглецевої сталі. F. Ventiss та ін. показали, що 2,5-біс(4-метоксифеніл)-1,3,4-оксадіазол забезпечує ефективність захисту маловуглецевої сталі в 0,5М сульфатній кислоті понад 96,19 % в концентрації 8×10^{-4} М при 333 К [2]. Встановлено вплив 2,5-біс(н-піридил)-1,3,4-оксадіазолів на корозію маловуглецевої сталі в 1М хлоридній та 0,5М сульфатній кислотах [3]. Ventiss та ін. показали, що ці сполуки більш ефективні в 1М НСІ, де вони є інгібіторами змішаного типу на

відміну від 0,5М H₂SO₄, де відбувається гальмування лише анодної реакції. При цьому адсорбція сполук на поверхні маловуглецевої сталі в обох кислотних середовищах відбувається за ізотермою Ленгмюра. Також встановлена кореляція інгібувальної дії з особливостями структури [4].

У дослідженні [5] показано, що в кислотному хлоридному середовищі (1М розчин НСІ) при оптимальній концентрації 10^{-3} М 5-(6-хлоропіридин-3-іл)-N-(2,6-дифлуорфеніл)-1,3,4-оксадіазол-2-амін продемонстрував ефективність інгібування корозії маловуглецевої сталі 88,66 %, тоді як 5-(6-хлоропіридин-3-іл)-N-(2,6-диметилфеніл)-1,3,4-оксадіазол-2-аміну – 95,02%. Для обох сполук характерна фізико-хімічна адсорбція, яка відповідає ізотермі адсорбції Ленгмюра. За умов електрохімічної корозії вони є інгібіторами змішаного типу. Встановлено, що ефективність їх інгібування

зростає зі збільшенням концентрації і досягає 97,0 % при концентрації $1,2 \times 10^{-4} \text{M}$.

У статті [6] описано ще чотири сполуки цього ж ряду, які виявляють захисну дію до 91,0 % за умов корозії сталі у 1М розчин НСІ. Також наявні результати [7], які демонструють ефективність сполук ряду азолів при гальмуванні корозії алюмінієвого сплаву у нейтральному сольовому середовищі.

Інтерес до цих сполук як інгібіторів корозії зумовлений наявністю в молекулі декількох адсорбційно-реакційних центрів (атомів нітрогену та кисню циклу та нітрогену аміногрупи), плоскою геометрією спряженої системи оксадіазольного кільця, що збільшує площу екранування поверхні, та низькою токсичністю.

Метою даної роботи було синтезувати нові похідні аміно-1,2,4-оксадіазолу та дослідити їх інгібувальні властивості щодо корозії конструкційної сталі у кислотному хлоридному середовищі в залежності від особливостей будови молекул.

Матеріали та методи дослідження

Похідні аміно-1,2,4-оксадіазолу (**1-3**) та (**4,5**) синтезовано у дві стадії. При одержанні сполук **1-3** (схема 1) згідно [8] на першій стадії відбувалась взаємодія карбонових кислот з ціанамідом, внаслідок якої синтезовано циклоалкілпохідні ацилціанаміду. На наступній стадії при дії гідроксиламіну за наявності органічних основ з високими виходами похідні ціанаміду було перетворено на 3-заміщені 1,2,4-оксадіазоли.

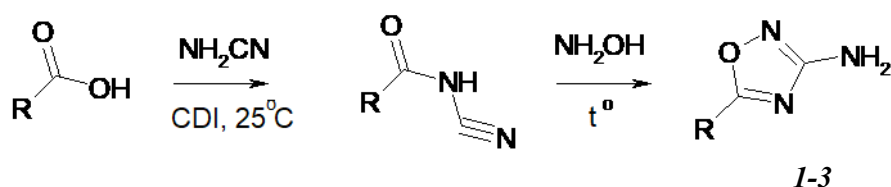


Схема 1: **1** – R=cBut; **2** – R=cPent; **3** – R=cHex

При одержанні речовин **4, 5** (схема 2) на першій стадії алкіламідоксими були перетворені у 5-трихлорометил-1,2,4-

оксадіазоли, які при дії амоніаку з помірними виходами модифіковані у 3-алкіл-5-аміно-1,2,4-оксадіазоли **4, 5** [9].

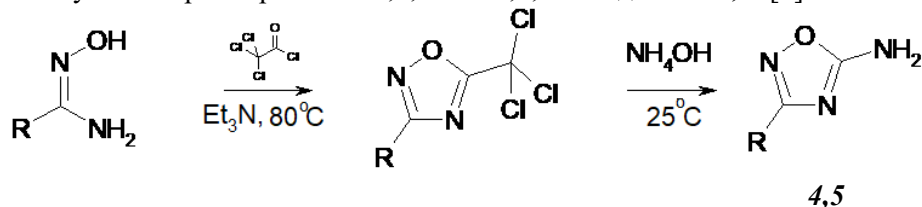


Схема 2: **4** – R = tBut; **5** – R = cPr

Методики синтезу сполук

5-циклобутил-1,2,4-оксадіазол-3-амін (сполука **1**). При перемішуванні до розчину циклобутанкарбонової кислоти (0,03 моль) у 50 мл безводного ТГФ порціями додавали CDI (0,033 моль) за температури 20-25 °С. Отриману суміш перемішували 1 годину, додавали ціанамід (0,045 моль) і продовжували перемішувати 8 годин при тій же температурі.

Розчинник випарювали, додавали 50 мл дистильованої води, отриману суміш підкислювали розведеною хлоридною

кислотою до рН 2-3, екстрагували 100 мл МТБЕ, органічний шар відділяли, витримували над безводним натрій сульфатом та випарювали на роторі.

Отриманий залишок розчиняли у 50 мл безводного етанолу, додавали 0,06 моль гідроксиламіну, 0,033 моль триетиламіну і кип'ятили отриману суміш протягом 8 годин. Після охолодження випарювали надлишок розчинника, залишок розтирали з 25 мл дистильованої води, осад відфільтровували, промивали холодною водою. Перекристалізували з пропан-2-олу. Мас-спектр, m/z: 139,04 [M⁺].

5-циклопентил-1,2,4-оксадіазол-3-амін (сполука **2**) одержано аналогічно сполуці **1**. Мас-спектр, m/z : 153,1 [M^+].

5-циклогексил-1,2,4-оксадіазол-3-амін (сполука **3**) одержаний аналогічно сполуці **1**. Мас-спектр, m/z : 166,0 [M^+].

3-третбутил-1,2,4-оксадіазол-5-амін (сполука **4**). При перемішуванні до суміші третбутиламідоксиму (0,03 моль) у 50 мл безводного $CHCl_3$ додавали триетиламін (0,06 моль) за температури 20-25 °С. Отриману суміш охолоджували до 0 °С та додавали до неї при активному перемішуванні по краплині розчин хлороангідриду трихлороцтової кислоти (0,033 моль) у 20 мл безводного $CHCl_3$. Доводили до температури 20-25 °С і перемішували 2 години, випарювали розчинник на роторі, додавали 60 мл безводного толуену та кип'ятили з насадкою Діна-Старка до припинення виділення води. Після охолодження випарювали надлишок розчинника на роторі, додавали 60 мл дистильованої води та екстрагували 100 мл хлороформу, органічний шар відділяли,

висушували над натрій сульфатом та випарювали на роторі. До залишку додавали 50 мл концентрованого розчину амоніаку та за температури 20-25 °С перемішували 24 години. Випарювали розчинник на роторі та розтирали з МТБЕ при охолодженні, фільтрували, промивали невеликою кількістю холодної води. Перекристалізували з етанолу. Мас-спектр, m/z : 126,0 [M^+].

3-циклопропіл-1,2,4-оксадіазол-5-амін (сполука **5**) одержаний аналогічно сполуці **4**. Мас-спектр, m/z : 142,2 [M^+].

Спектри ПМР отриманих сполук виміряні на приладі Bruker Avance 500 МГц, розчинник ДМСО d_6 , внутрішній стандарт ТМС (тетраметилсилан). Хроматомас-спектри отримані на приладі Agilent 1260 Infinity II Quaternary LC та Agilent 6890 GC. Температури плавлення визначені на столику Voetins. Вихідні речовини для синтезу були надані ТОВ НВП «Укроргсинтез».

Виходи сполук, їх спектральні характеристики та температури плавлення представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Характеристика досліджених похідних аміно-1,2,4-оксадіазолу.

Сполука	Брутто-формула	Вихід, %	$T_{пл}$ °С	Дані спектрів ПМР, м.ч.	
				R	NH ₂
1	$C_9H_9N_3O$	73	66	1.82–2.12 (2H) м 2.19–2.40 (3H) м 3.58–3.66 (1H) м	6.15 (2H) с
2	$C_7H_{11}N_3O$	71	90	1.54–1.73 (6H) м 1.92–2.05 (2H) м 3.11–3.20 (1H) м	6.13 (2H) с
3	$C_8H_{11}N_3O$	75	100	1.23–1.50 (5H) м 1.58–1.73 (3H) м 1.86–1.96 (2H) м 2.74–2.83 (1H) м	6.15 (2H) с
4	$C_6H_{11}N_3O$	67	193	1.83 (9H) с	7.60 (2H) с
5	$C_5H_7N_3O$	71	137	0.66–0.82 (4H) м 1.76–1.86 (1H) м	7.61 (2H) с

3D моделі молекул отримували з використанням програми Chem3D пакету програм ChemOffice 18.0. (PerkinElmer Informatics Inc.). Оптимізація геометрії молекули здійснювались за методом MM2 (minimum RMS gradient = 0,010, step interval = 2, frame interval = 10, target temperature = 300 K; parameter quality: all parameters used are

finalized; job type: minimize energy to minimum RMS gradient of 0,010 display every iteration).

Ступінь протонування молекул похідних аміно-1,2,4-оксадіазолу в 1M HCl оцінювали за допомогою програми ACDLogD (ACDLabs 6.00, Advanced Chemistry Development Inc.). Заряди на атомах молекул синтезованих речовин розраховували за допомогою програми Hyperchem 8.0

(Nupercure, Inc.) з використанням методу силового поля молекулярної механіки MM+. Для оптимізації геометрії молекул використано напівемпіричний метод PM3. В якості алгоритму оптимізації молекулярної структури використано двохкроковий градієнтний метод сполучених градієнтів Fletcher-Reeves першого порядку [10].

Інгібувальні властивості синтезованих похідних щодо корозії конструкційної сталі в 1М НСІ досліджено методом поляризаційних вимірювань з використанням потенціостату-гальваностату PGstat500n та трьохелектродної комірки з розділеним катодним і анодним простором. Робочий електрод – зразок циліндричної форми зі сталі 10 (площа 0.65 см²), допоміжний – Pt, електрод порівняння – хлорид срібний ($E = 0.22$ В). Температура 293К. Концентрація аміно-1,2,4-оксадіазолів становила 20 ppm.

Поляризаційні криві знімали від потенціалу вільної електрохімічної корозії (E_{st}) до 0.8 В та від E_{st} до 0.2 В (значення вказані відносно х.с.е.). Швидкість подачі потенціалу становила 10 мВ/с. Струм реєстрували за допомогою комп'ютера та програмного забезпечення PGstat500n. Для

оцінки впливу аміно-1,2,4-оксадіазолів на корозійно-електрохімічну поведінку сталі 10 будували графічні залежності потенціалу від логарифму густини струму та розраховували потенціал та струм електрохімічної корозії (E_{st} , i_{st}), катодного (E_k , i_k) та анодного (E_a , i_a) парціальних процесів, коефіцієнти гальмування (γ_{st} , γ_k , γ_a) та захисний ефект (Z_{st} , Z_k , Z_a). Константи рівняння Тафеля b_k та b_a визначали за нахилом початкових прямолінійних ділянок поляризаційних кривих [11].

Статистична обробка результатів експерименту здійснювали для рівня значущості 0,05 з використанням Microsoft Excel. Кількість повторюваностей – 3. Відносна похибка одержаних результатів не перевищує 10 %.

Результати та обговорення

Одержані похідні аміно-1,2,4-оксадіазолу, просторова будова яких візуалізована шляхом побудови 3D моделей (табл. 2), при рН = 0 (1М НСІ) знаходяться у розчині переважно у протонованій формі.

Таблиця 2. Досліджені похідні 1,2,4-оксадіазол-3-аміну (**1-3**) та 1,2,4-оксазол-5-аміну (**4,5**).

Сполука	Структурна формула з нумерацією атомів	3D модель молекули	Форма молекули при рН=0
1			
2			
3			
4			
5			

Найменш протонувана при рН=0 (лише на 40 %) молекула сполуки **3** (рис. 1в).

Розподіл зарядів на адсорбційно-реакційних центрах найбільш вірогідних форм молекул аміно-1,2,4-оксадіазолів, відповідно протонуваних форм (сполуки **1**, **2**, **4**, **5**) та непротонуваної (сполука **3**), представлено у табл. 3. Слід зазначити, що всі

сполуки мають позитивно заряджений атом нітрогену аміногрупи N⁶. У похідних 1,2,4-оксадіазол-3-амінів (сполуки **1** та **2**) позитивний заряд також є на атомі N⁴, а у похідних 1,2,4-оксадіазол-5-амінів (сполуки **4** та **5**) – на атомі N² (номери атомів зазначені відповідно табл. 2).

Таблиця 3. Заряди на адсорбційно-реакційних центрах найбільш вірогідних форм похідних аміно-1,2,4-оксадіазолів при рН=0.

Сполука	Величина заряду на атомі			
	O ¹	N ²	N ⁴	N ⁶
1	0,024	-0,144	0,149	0,597
2	0,016	-0,133	0,015	0,596
3	-0,080	-0,207	-0,130	0,153
4	-0,017	0,177	-0,056	0,553
5	-0,015	0,178	-0,060	0,551

Примітка. Позначення атомів Нітрогену відповідають даним таблиці 2.

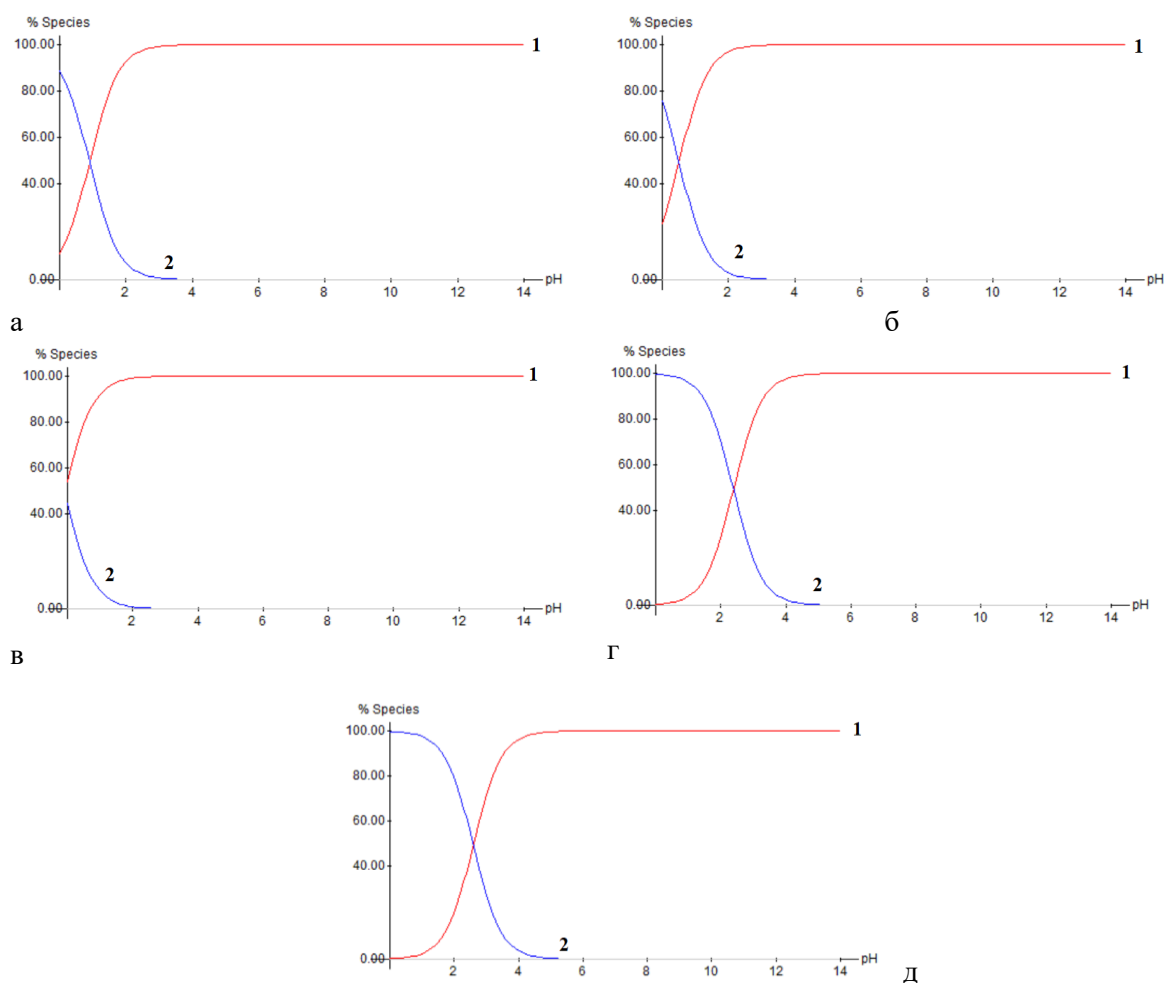


Рис. 1. Вірогідність існування аміно-1,2,4-оксадіазолів в розчинах з різним значенням рН у вигляді певної форми: 1 – непротонувана; 2 – протонувана по одному атому Нітрогену: а) сполука **1**; б) сполука **2**; в) сполука **3**; г) сполука **4**; д) сполука **5**.

Протикорозійна дія сполук у певній мірі визначається їх здатністю до адсорбції на поверхні металу, яка в 1М хлоридній кислоті, заряджена негативно унаслідок специфічної адсорбції хлорид йонів. Тож важливе значення має наявність позитивно заряджених адсорбційно-реакційних центрів. Адсорбції сполук **1** та **2** сприяє високий позитивний заряд на атомі нітрогену аміногрупи (N^6) та наявність позитивно зарядженого адсорбційного центру у вигляді нітрогену оксадіазольного циклу (N^4). При цьому значно нижчий заряд на N^4 сполуки **2** буде знижувати значення цього адсорбційного центру. Розподіл зарядів на атомах катіонів сполук **4** та **5** практично не відрізняється. Але наявні у них позитивно заряджені атоми нітрогену оксадіазольного циклу (N^2) розміщені поруч з негативно зарядженими атомами кисню, а атоми N^4 мають незначний негативний заряд на рівні зарядів атомів карбону. Найменшу здатність до адсорбції на сталі у розчині хлоридної кислоти, виходячи з розподілу зарядів, має сполука **3**.

Будова, зокрема розподіл зарядів на адсорбційно-реакційних центрах молекул синтезованих похідних, узгоджується з результатами дослідження протикорозійних

властивостей (рис. 1, рис. 2, табл. 4). Всі сполуки впливають на корозійно-електрохімічну поведінку сталі Ст10, зокрема зміщення потенціалу вільної електрохімічної корозії. Але речовини **1,2** та **4** зміщують його в анодну ділянку (максимально сполука **1** – на 50 мВ), а **3** та **5** – незначно в бік негативних значень. При цьому значення констант рівняння Тафеля b_k та b_a за їх присутності не змінюються і дорівнюють 0,16 та 0,06 відповідно.

Найбільший захисний ефект (92,0 %) забезпечує сполука **1**, головним чином за рахунок уповільнення анодного процесу розчинення металу. Сполука **2** характеризується нижчим значенням інгібувальної дії. Практично не впливає на швидкість електрохімічної корозії сталі сполука **3**, яка має найменший ступінь протонування при рН корозійного середовища та відповідний розподіл зарядів (табл. 3). При цьому в анодній області спостерігається навіть пришвидшення розчинення металу. Похідні 1,2,4-оксадіазол-5-амінів (сполуки **4** та **5**) також виявилися не перспективними для уповільнення корозійних процесів в кислотному хлоридному середовищі.

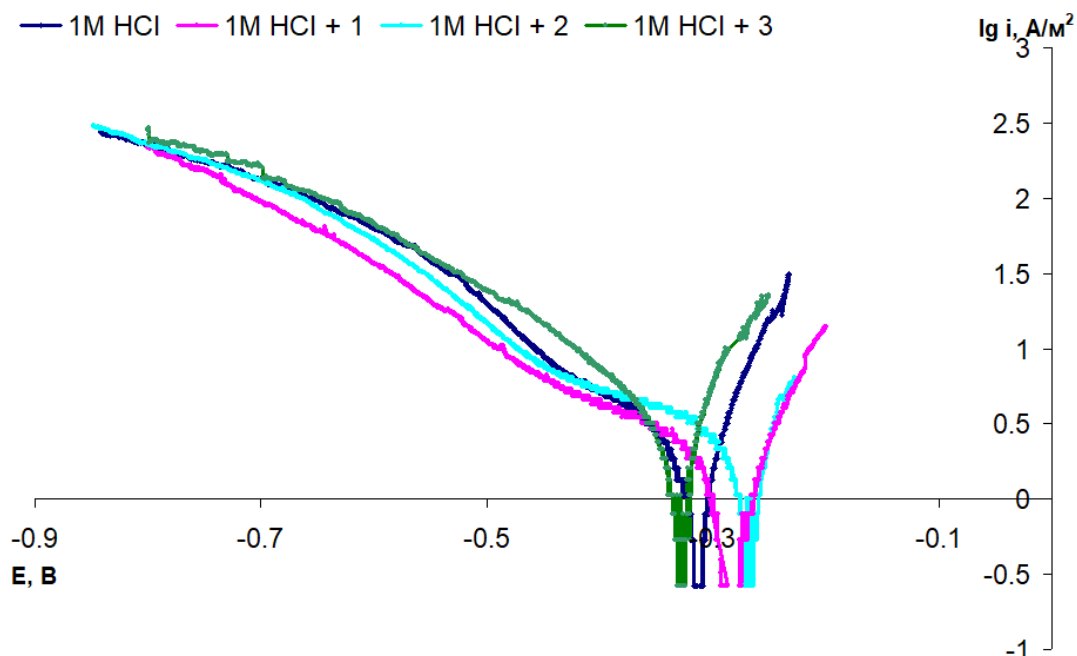


Рис.2. Поляризаційні криві сталі 10 в 1М НСІ без та за присутності похідних 1,2,4-оксадіазол-3-аміну.

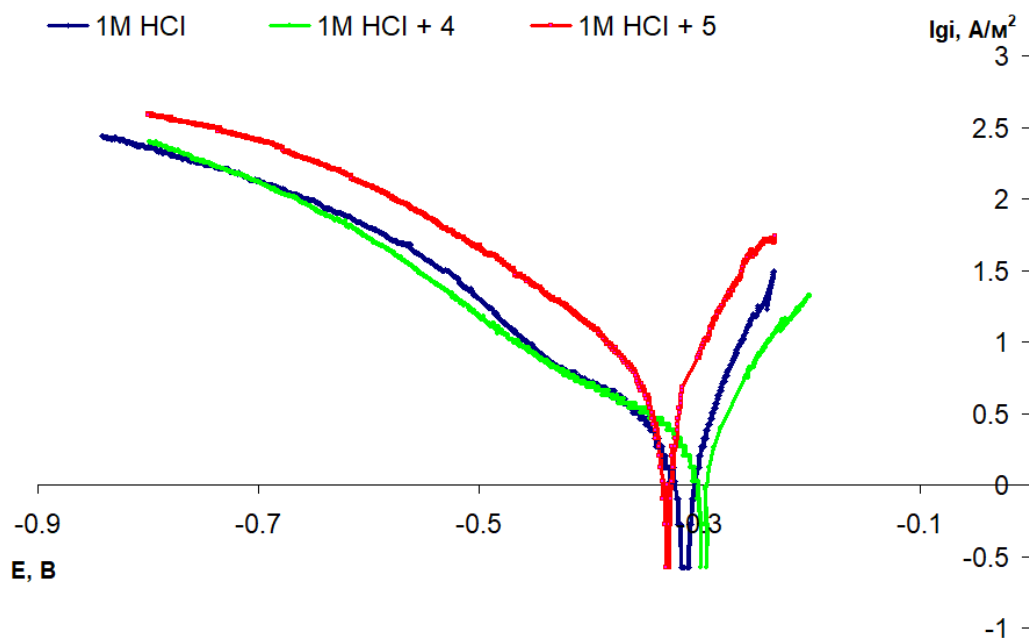


Рис. 3. Поляризаційні криві сталі 10 в 1М НСl без та за присутності похідних 1,2,4-оксадіазол-5-аміну.

Таблиця 4. Коефіцієнти гальмування та ступінь захисту сталі 10 похідними аміно-1,2,4-оксадіазолу.

Сполука	γ_{st}	$Z_{st}, \%$	γ_a	$Z_a, \%$	γ_k	$Z_k, \%$
1	12,50	92,0	8,93	88,8	1,59	37,1
2	3,33	70,0	7,08	85,9	1,00	—
3	1,00	—	0,71	—	1,00	—
4	1,17	14,5	1,80	44,4	1,00	—
5	0,89	—	0,35	—	0,63	—

Примітка. «←» - показник не розраховується; γ_a визначали при $E = -0,25$ В; γ_k – при $E = -0,36$ В.

Висновки

Таким чином, з точки зору виявлення інгібувальних властивостей, більш перспективними є похідні 1,2,4-оксадіазол-3-амінів, зокрема 5-(циклобутил)-1,2,4-оксадіазол-3-амін та 5-(циклопентил)-1,2,4-оксадіазол-3-амін, що зумовлено їх будовою, зокрема розподілом зарядів на адсорбційно-реакційних центрах.

Конфлікт інтересів. конфлікт інтересів відсутній.

Внесок авторів. Бондар О.С. – виконання експерименту, збір та обробка даних, написання статті; Курмакова І.М. – концептуалізація, написання статті, верифікація та валідація результатів; Макей О.П. – виконання експерименту, написання статті.

Список використаних джерел

1. Biernacki K, Daško M, Ciupak O, Kubiński K, Rachon J, Demkowicz S. Novel 1,2,4-Oxadiazole Derivatives in Drug Discovery. *Pharmaceuticals*. 2020, 13(6). 111. Doi: 10.3390/ph13060111.
2. Bouklah M., Hammouti B., Lagrenée M., Bentiss F. Thermodynamic properties of 2,5-bis(4-methoxyphenyl)-1,3,4-oxadiazole as a corrosion inhibitor for mild steel in normal sulfuric acid medium. *Corros. Sci.* 2006, 48(9). 2831–2842. Doi: 10.1016/j.corsci.2005.08.019.
3. Bentiss F., Lagrenée M., Traisnel M. 2,5-Bis(n-Pyridyl)-1,3,4-Oxadiazoles as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in Acidic Media. *Corrosion*, 2000, 56(7). 733–742. Doi:10.5006/1.3280577.
4. Jafil H., Ech-chihbi E., Nadi I., Bouanis M., Jama C., Bentiss F. 2,5-Bis(4-pyridyl)-1,3,4-oxadiazole as efficient organic corrosion inhibitor for carbon steel in normal hydrochloric acid medium: Influence of the temperature on the inhibition process. *Mor. J. Chem.*, 2024, 12(3). 1172–1191. Doi: 10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v12i3.48615.

5. Üstün N., Dalouh M., Azghay I., Zannagui C., Chiban M., Lahhit A., Aziam R., Elyoussfi A., Ahari M., Salhi A., Tok F. Corrosion inhibition and substituent impact of newly synthesized 1,3,4-oxadiazole derivatives on mild steel in acidic media: Electrochemical and quantum chemistry insights. *J. Mol. Struct.* 2025, 1341. Doi: 10.1016/j.molstruc.2025.142685.
6. Dalouh M., Üstün N., Zannagui C., Dikici B., Ouzidan Y., Chiban M., El Qdhy S., Ahari M., El Barkany S., Tok F., Salhi A. Novel oxadiazoles derivatives as promising corrosion inhibitors for mild steel in an acidic environment: An experimental and theoretical investigation. *J. Mol. Struct.* 2026, 1361(5). 145628. Doi: 10.1016/j.molstruc.2026.145628.
7. Guo X, Wang J, Huang L, Wang Y, Ma L, Zhang D., Ma L. Corrosion Inhibition and Adsorption Process of 3-Amino-5-Mercapto-1,2,4-Triazole on Aluminium Alloy: Experimental and Theoretical Studies. *Front. Mater.*, 2022, 9. 874899. Doi: 10.3389/fmats.2022.874899.
8. Vieira E., Huwyler J., Jolidon S., Knoflach F., Mutel V., Vichmann J. 9*H*-Xanthen- 9-carboxylic acid [1,2,4]oxadiazol-3-yl- and (2*H*-tetrazol-5-yl)-amides as potent, orally available mGlu1 receptor enhancers. *Bioorg Med Chem Lett*, 2005, 15. 4628–4631. Doi:10.1016/j.bmcl.2005.05.135.
9. Jakopin Z. Ethyl 5-trichloromethyl-1,2,4-oxadiazole-3-carboxylate as a versatile building block in medicinal chemistry. *Tetrahedron Lett.* 2018, 59. 4320–4322. Doi:10.1016/j.tetlet.2018.10.054.
10. Туровська О.М. Туровський М.А. Практикум з квантової хімії. Навчально-методичний посібник. Донецьк : ДонНУ, 2007. 131 с
11. Whillock G.O.H., Worthington S.E., Abdullahi A.A. Corrosion in Nitric Acid. in book: Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. 2017, 2. 1250–1269. Doi:10.1016/B978-0-12-803581-8.09208-0.

Стаття надійшла до редакції: 24.04.2026 р.; прийнята до друку 18.05.2026 р.; опублікована 29.05.2026 р.

AMINO-1,2,4-OXADIAZOLE DERIVATIVES: SYNTHESIS, STRUCTURE, PROPERTIES

¹Bondar O., ¹Kurmakova I., ²Makei O.

¹*T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»,*

²*UKRORGSYNTEZ Ltd.*

e-mail: bondar4elena@gmail.com

New amino-1,2,4-oxadiazole derivatives were synthesized, and their inhibitory properties against the corrosion of structural steel in an acidic chloride environment were investigated as a function of molecular structure. To obtain 1,2,4-oxadiazol-3-amines, cycloalkyl derivatives of acylcyanamide were synthesized in the first stage, which were then converted with high yields in the next stage under the action of hydroxylamine in the presence of organic bases. To obtain 1,2,4-oxadiazol-5-amines, in the first stage, alkylamidoximes were converted into 5-trichloromethyl-1,2,4-oxadiazoles, which were then modified with moderate yields in the second stage under the action of ammonia. The spatial structure of the new compounds has been confirmed by NMR spectroscopy and visualized by constructing 3D models. The charge distribution at adsorption-reaction centers was calculated for the most probable molecular forms in a 1 M HCl solution. The structure of the synthesized derivatives is consistent with the results of the study of anticorrosion properties. 5-(cyclobutyl)-1,2,4-oxadiazol-3-amine and 5-(cyclopentyl)-1,2,4-oxadiazole-3-amine, which at a concentration of 20 ppm provide protection levels of 92% and 70%, respectively.

Keywords: 1,2,4-oxadiazolamine derivatives; synthesis; inhibitors; acid corrosion

References

1. Biernacki K, Daško M, Ciupak O, Kubiński K, Rachon J, Demkowicz S. Novel 1,2,4-Oxadiazole Derivatives in Drug Discovery. *Pharmaceuticals*. 2020, 13(6). 111. Doi: 10.3390/ph13060111.

2. Bouklah M., Hammouti B., Lagrenée M., Bentiss F. Thermodynamic properties of 2,5-bis(4-methoxyphenyl)-1,3,4-oxadiazole as a corrosion inhibitor for mild steel in normal sulfuric acid medium. *Corros. Sci.* 2006, 48(9). 2831–2842. Doi: 10.1016/j.corsci.2005.08.019.
3. Bentiss F., Lagrenée M., Traisnel M. 2,5-Bis(n-Pyridyl)-1,3,4-Oxadiazoles as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in Acidic Media. *Corrosion*, 2000, 56(7). 733–742. Doi:10.5006/1.3280577.
4. Jafil H., Ech-chihbi E., Nadi I., Bouanis M., Jama C., Bentiss F. 2,5-Bis(4-pyridyl)-1,3,4-oxadiazole as efficient organic corrosion inhibitor for carbon steel in normal hydrochloric acid medium: Influence of the temperature on the inhibition process. *Mor. J. Chem.*, 2024, 12(3). 1172–1191. Doi:10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v12i3.48615.
5. Üstün N., Dalouh M., Azghay I., Zannagui C., Chiban M., Lahhit A., Aziam R., Elyoussfi A., Ahari M., Salhi A., Tok F. Corrosion inhibition and substituent impact of newly synthesized 1,3,4-oxadiazole derivatives on mild steel in acidic media: Electrochemical and quantum chemistry insights. *J. Mol. Struct.* 2025, 1341. Doi: 10.1016/j.molstruc.2025.142685.
6. Dalouh M., Üstün N., Zannagui C., Dikici B., Ouzidan Y., Chiban M., El Qdhy S., Ahari M., El Barkany S., Tok F., Salhi A. Novel oxadiazoles derivatives as promising corrosion inhibitors for mild steel in an acidic environment: An experimental and theoretical investigation. *J. Mol. Struct.* 2026, 1361(5). 145628. Doi: 10.1016/j.molstruc.2026.145628.
7. Guo X, Wang J, Huang L, Wang Y, Ma L, Zhang D., Ma L. Corrosion Inhibition and Adsorption Process of 3-Amino-5-Mercapto-1,2,4-Triazole on Aluminium Alloy: Experimental and Theoretical Studies. *Front. Mater.*, 2022, 9. 874899. Doi: 10.3389/fmats.2022.874899.
8. Vieira E., Huwyler J., Jolidon S., Knoflach F., Mutel V., Vichmann J. 9H-Xanthen-9-carboxylic acid [1,2,4]oxadiazol-3-yl- and (2H-tetrazol-5-yl-amides as potent, orally available mGlu1 receptor enhancers. *Bioorg Med Chem Lett*, 2005, 15. 4628–4631. Doi:10.1016/j.bmcl.2005.05.135.
9. Jakopin Z. Ethyl 5-trichloromethyl-1,2,4-oxadiazole-3-carboxylate as a versatile building block in medicinal chemistry. *Tetrahedron Lett.* 2018, 59. 4320–4322. Doi:10.1016/j.tetlet.2018.10.054.
10. Turovska O.M. Turovskyi M.A. *Praktykum z kvantovoi khimii. Navchalno-metodychnyi posibnyk Donetsk: DonNU*, 2007, 131. (in Ukr.).
11. Whillock G.O.H., Worthington S.E., Abdullahi A.A. Corrosion in Nitric Acid. in book: Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. 2017, 2. 1250–1269. Doi:10.1016/B978-0-12-803581-8.09208-0.