

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Intehrovane upravlinnia vodnymi resursamy: nauk. zbirnyk – Integrated water resources management: scientific collection, Kyiv, no.1, pp. 26–39. (in Ukrainian).

20. Yakobchuk, Yu. O., Sydorenko, O. V. (2015). Aktualni problemy bezpechnosti vody pytnoi [Drinking water safety issues]. Proceedings from *Innovatsiini tekhnologii rozvytku sferi kharchovykh vyrobnytstv, hotelno-restorannoho biznesu, ekonomiky ta pidpriemstva: naukovy poshuky molodi: Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia molodykh uchenykh i studentiv - Innovative technology development of food production, hotel and restaurant business, the economy and enterprise, scientific research young. Conference proceedings of the Ukrainian scientific-practical conference of young scientists and students (April 2, 2015)*. (Cherevko, O. I. (ed.), Kharkov, KhDUKhT, vol. 1, 239 p. (in Ukrainian).

21. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, 22.12.2000, EN, L. 327/1.

22. Guidelines for drinking-water quality (1997). *World Health Organization*. Geneva.

23. Sydorenko, O. V., Goncharova, I. V., Moisienko, O. B. (2012). Advanced sensory and instrumental methods in food analysis. Proceedings of the *18-th IGWT Symposium “Technology and Innovation for a Sustainable Future: a Commodity Science Perspective”*. Rome, Italy, 2012, electronic version.

24. Water and health in Europe. *WHO regional publications, European series*, no. 93. Retrieved from: <http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/water-and-health-in-europe.-a-joint-report-from-the-european-environment-agency-and-the-who-regional-office-for-europe>.

Сидоренко Олена Володимирівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри товарознавства, управління безпекою та якістю, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Киото, 19, м. Київ, 02156, Україна).

Сидоренко Елена Владимировна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры товароведения, управления безопасностью и качеством, Киевский национальный торгово-экономический университет (ул. Киото, 19, г. Киев, 02156, Украина).

Sydorenko Olena – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of department commodity research, safety management and quality, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kyoto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

Якобчук Юлія Олександрівна – аспірант, аспірант кафедри товарознавства, управління безпекою та якістю, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Киото, 19, м. Київ, 02156, Україна).

Якобчук Юлия Александровна – аспирант, аспирант кафедры товароведения, управления безопасностью и качеством, Киевский национальный торгово-экономический университет (ул. Киото, 19, г. Киев, 02156, Украина).

Yakobchuk Yuliia – PhD student, PhD student of department commodity research, safety management and quality, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kyoto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

Победаш Никола Михайлович – асистент кафедри товарознавства, експертизи, митної справи та торгівлі, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Победаш Николай Михайлович – ассистент кафедры товароведения, экспертизы, таможенного дела и торговли, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Pobedash Mykola – assistant lecturer of Department of commodity, examination, customs business and trade, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

УДК 620.197.3

Олена Бондар

ПОХІДНІ ПІРИМІДИНУ ТА ЇХ ІНГІБУВАЛЬНА ДІЯ НА КОРОЗІЮ МАЛОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Елена Бондарь

ПРОИЗВОДНЫЕ ПИРИМИДИНА И ИХ ИНГИБИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ НА КОРРОЗИЮ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Olena Bondar

INHIBITION ACTION OF PYRIMIDINE DERIVATIVES ON CORROSION OF MIDL STEEL

Встановлено, що досліджені похідні піримідину у кислому хлоридному середовищі забезпечують ступінь захисту маловуглецевої сталі 45,9–94,8%. Більш ефективною є сполука з двома конденсованими циклами триазолопіримідину та піразолопіримідину. Для моноциклічної похідної ступінь захисту не залежить від концентрації кислоти. Для сполуки з зазначеними конденсованими системами ефективність інгибування в 0,1М розчині HCl вища, ніж у 1М, що зумовлено різним ступенем протонування молекули. Похідні з піримідиновим циклом здатні утворювати поверхневі сполуки на сталі, що зумовлює ефект післядії. Для інгибування корозії у розчині сульфатної кислоти та мікробної корозії сталі Ст3пс досліджені похідні виявилися малоєфективними, ступінь захисту не перевищує 39,9 та 22,4% відповідно.

Ключові слова: похідні піримідину, інгібітор, корозія, маловуглецева сталь.

Рис.: 1. Табл.: 3. Бібл.: 12. Установлено, что исследованные производные пириимидина в кислой хлоридной среде обеспечивают степень защиты малоуглеродистой стали 45,9–94,8%. Более эффективным является вещество с двумя конденсированными циклами триазолопириимидина и триазолопириидина. Для моноциклического производного степень защиты не зависит от концентрации кислоты. Для соединения с указанными конденсированными системами эффективность ингибирования в 0,1М растворе HCl выше, чем в 1М, что обусловлено разной степенью протонирования молекулы. Производные с пириимидиновым циклом способны образовывать поверхностные соединения на стали, что обуславливает эффект последействия. Для ингибирования коррозии

в растворе серной кислоты и микробной коррозии стали СтЗпс исследуемые производные малоэффективны: степень защиты не превышает 39,9 и 22,4 % соответственно.

Ключевые слова: производные пиримидина, ингибитор, коррозия, малуглеродистая сталь.

Рис.: 1. Табл.: 3. Библ.: 12.

Established that investigated pyrimidine derivatives in acid chloride medium provide protective effect of mild steel 45,9–94,8 %. More effective is the substance with two condensed triazolopyrimidine and pyrazolopyridine cycles. For monocyclic derivative protective effect does not depend on concentration of acid. For substance with condensed systems efficiency of inhibition in 0,1M HCl above than in 1M HCl caused by different protonation degree of molecules. Pyrimidine derivatives can form superficial compounds on steel that causes aftereffect efficiency. Investigated derivatives are ineffective for inhibition of St3ps steel corrosion in sulfuric acid solution and microbial corrosion: protective effect does not exceed 39,9 and 22,4 % accordingly.

Key words: pyrimidine derivatives, inhibitor, corrosion, mild steel.

Fig.: 1. Tabl.: 3. Bibl.: 12.

Постановка проблеми. Маловуглецева сталь є одним з основних конструкційних матеріалів, суттєвим недоліком якого є відносно низька корозійна стійкість [1]. Тому експлуатація споруд із зазначеної сталі, особливо у кислотних середовищах та середовищах, де відбувається мікробна корозія, потребує використання інгібіторів.

Інгібітори кислотної корозії маловуглецевої сталі виявлені серед похідних імідазолу, триазолу, піридину, бензімідазолу, імідазоазепіну, триазолоазепіну [2]. Незважаючи на значну кількість відомих нітрогеновмісних гетероциклічних сполук із встановленою інгібувальною дією у кислих середовищах, такі дослідження не втрачають актуальності [3–6]. Перспективними, але недостатньо дослідженими як інгібітори корозії, є сполуки з піримідиновим циклом як ізольованим, так і у складі гетероциклічних систем, зокрема піразолопіридину та триазолопіримідину.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [3–7] показано, що моно- та біциклічні похідні піримідину виявляють інгібувальну дію під час корозії сталі в кислих середовищах. Так, А. S. Fouda встановив, що похідні 4,6-диметил піримідину в 1М розчині НСІ під час концентрації 0,017 ммоль/л виявляють ступінь захисту до 74,1 % [3]. Похідні, що містять ізольовані триазольний та піримідиновий цикли в 1М розчині сульфатної кислоти під час концентрації 1 ммоль/л виявляють захист маловуглецевої сталі до 99,7 % [5]. Водночас більшість ефективних інгібіторів містять конденсовані цикли, зокрема триазолоазепіновий [7], бензопіразольний [4] та інші. Так, 2-(м-метоксифеніл) імідазо[1,2-а]піримідин в 1М розчині НСІ у ході концентрації 1 ммоль/л виявляє ступінь захисту сталі С38 до 98,8 % [6]. Сполуки, до складу яких входить конденсована система з піримідиновим циклом, зокрема триазолопіримідину, як інгібітори кислотної корозії не досліджені.

У значній кількості публікацій інгібувальні властивості пояснюються з урахуванням квантово-хімічних показників молекул і встановлені залежності між захисною дією та зарядами на основних адсорбційно-реакційних центрах або енергетичними характеристиками [8]. Такий підхід вважається актуальним, тому що дозволяє прогнозувати захисну дію сполук у рядах, для яких встановлені зазначені залежності.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є дослідження інгібувальної дії похідних піримідину за умов кислотної та мікробної корозії маловуглецевої сталі СтЗпс.

Виклад основного матеріалу дослідження. Досліджено дві похідні піримідину: 2-(3-гідрокси-пропіоаміно)-6-метил-3H-піримідин-4-он (Ін 1) та 7-метил-3-[(6-метил-4-оксо-4,7-дигідро-3aH-піразоло[3,4-b]піридин-3іл)метил]-[1,2,4]-триазоло[4,3-a]піримідин-5(8H)-он (Ін 2), формули яких представлено на рис. Сполука Ін 1 являє собою моноциклічну систему, а Ін 2 містить дві конденсовані нітрогеновмісні системи.

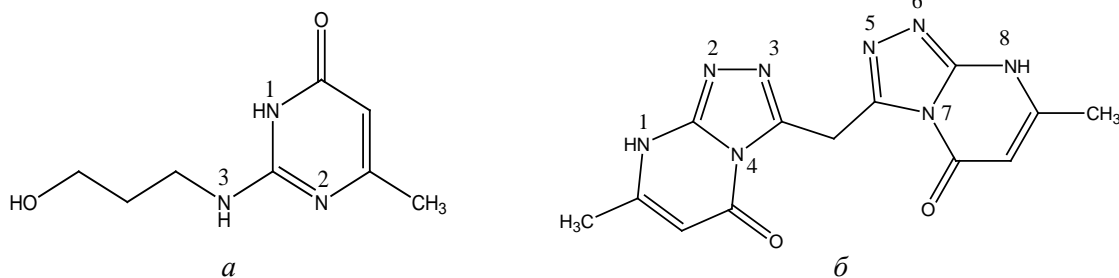


Рис. Структурні формули досліджених похідних піримідину: а – Ін 1; б – Ін 2

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Речовини одержані під керівництвом д-ра фармац. наук проф. А.М. Демченка Структура отриманих сполук підтверджена методом ЯМР ^1H -спектроскопії (DPX-400, розчинник ДМСО- d_6 , внутрішній стандарт ТМС).

Ступінь протонування молекул досліджених речовин при різних значеннях рН середовища оцінювали з використанням програми ACD/LogD, version 6.00.

Заряди на атомах та енергетичні характеристики ($E_{\text{НОМО}}$ – енергія вищої зайнятої молекулярної орбіталі та $E_{\text{ЛУМО}}$ – енергія нижньої вакантної молекулярної орбіталі) молекул розраховано з використанням пакета програм ChemOffice 9.0 (Cambridgesoft Inc.) за методом РМЗ (Parameterization Model version 3). Цей метод використовується для органічних молекул, що містять елементи головних підгруп I та II груп періодичної системи, і дозволяє отримувати більш якісні результати у порівнянні з іншими методами для молекул, що містять нітроген та кисень. За величиною енергетичної щільності ΔE ($\Delta E = E_{\text{ЛУМО}} - E_{\text{НОМО}}$) характеризували реакційну здатність молекул.

Ефективність інгібіторів оцінювали гравіметричним методом. Використовували пластини маловуглецевої сталі Ст3пс (30×40×1,5 мм) відшліфовані за 4–5 класом чистоти. Перед внесенням у корозійне середовище зразки сталі знежирювали спиртом і зважували на аналітичних терезах з точністю до $5 \cdot 10^{-5}$ г. Розраховували швидкість корозії без та за наявності інгібіторів ($K_m = \Delta m / (S \cdot \tau)$, де Δm – втрата маси зразка, г; S – площа зразка, м^2 ; τ – час, год), глибинний показник ($\Pi = K_m \cdot 8,76 \cdot 10^{-3} / 7,86$, мм/рік; де 7,86 – щільність сталі, $\text{г}/\text{см}^3$), коефіцієнт гальмування корозії ($\gamma = K_m / K_m'$, де K_m, K_m' – швидкість корозії без та за наявності інгібітора), ступінь захисту ($Z = 1 - 1/\gamma$).

Як корозивні середовища використовували 0,1М та 1М розчини HCl, 1М розчин H_2SO_4 . Час витримки зразків 24 години при температурі 293 К та 1 година при 313 К. Концентрація інгібіторів 0,5 та 1 г/л. Для виявлення ефекту післядії зразки після витримки в інгібованому середовищі висушували та занурювали в неінгібоване середовище на 24 години.

Дослідження мікробної корозії проводили у середовищі Постгейта «В», інокульованому сульфیدогенним корозійним мікробним угрупованням. Титр сульфатвідновлювальних бактерій в інокуляті $1 \cdot 10^8$ клітин/мл. Інокулят додавали до середовища у співвідношенні об'ємів 1:10 [9]. Час витримки зразків 240 годин при 300 К. Концентрація інгібітора 0,5 г/л. Біоцидну дію сполук щодо сульфатвідновлювальних бактерій вивчали паперово-дифузійним методом [10].

Статистичне оброблення результатів щодо швидкості корозії (середнє значення та його похибка) здійснювали за допомогою пакета «Описова статистика» програми Microsoft Excel для рівня надійності 95 %. Відносна похибка не перевищує 10 %. Повторність дослідів триразова.

Встановлено, що досліджені похідні піримідину у кислому хлоридному середовищі забезпечують ступінь захисту 45,9–94,8 % (табл. 1).

Таблиця 1

Результати гравіметричних досліджень інгібування корозії сталі Ст3пс у кислих розчинах похідними піримідину

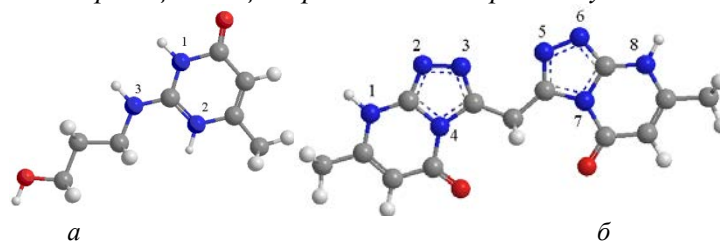
Корозивне середовище	Ін	$C_{\text{ін}}$, г/л	T, К	K_m , $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$	Π , $\text{мм} \cdot \text{рік}^{-1}$	γ	Z, %
1М HCl	без Ін	–	293	1,020	1,142	–	–
1М HCl	Ін 1	0,5	293	0,551	0,618	1,85	45,9
1М HCl	Ін 2	0,5	293	0,199	0,223	5,13	80,5
0,1М HCl	без Ін	–	293	0,608	0,681	–	–
0,1М HCl	Ін 1	0,5	293	0,309	0,346	1,97	49,3
0,1М HCl	Ін 2	0,5	293	0,075	0,084	8,14	88,1
0,1М HCl	Ін 2	1,0	293	0,032	0,036	19,18	94,8
0,1М HCl	без Ін	–	313	10,800	12,096	–	–
0,1М HCl	Ін 2	0,5	313	1,901	2,129	5,68	82,4
1М H_2SO_4	без Ін	–	293	4,484	5,022	–	–
1М H_2SO_4	Ін 2	0,5	293	2,699	3,023	1,66	39,9

Більш ефективною виявилась сполука Ін 2, що узгоджується з уявленнями про вищу інгібувальну дію сполук з конденсованою гетероциклічною системою порівняно з моноциклічними системами [11; 12]. У розчині сульфатної кислоти інгібувальна дія похідних піримідину значно нижча, що показано на прикладі Ін 2 (табл. 1).

За даними розрахунків встановлено, що молекула Ін 1 у досліджених 0,1М та 1М розчинах існує у вигляді катіона: пропонування відбувається по атому N2 при $\text{pH} < 3,2$. У протонованій молекулі всі атоми нітрогену Ін 1 мають невисокий заряд (табл. 2), що разом з відносно малою площею екранування поверхні металу пояснює низький ступінь захисту, який практично однаковий у розчинах 0,1М та 1М НСІ.

Таблиця 2

Просторові моделі (а - Ін 1; б - Ін 2) та розподіл зарядів на основних адсорбційно-реакційних центрах похідних піримідину



Форма молекули	Розподіл зарядів на атомах нітрогену										
	Ін 1			Ін 2							
	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
нейтральна	-0,494	-0,317	-0,484	0,228	-0,092	0,005	0,158	0,006	-0,091	0,159	0,228
катіон	-0,022	0,150	0,055	0,222	0,267	-0,134	0,059	-0,134	0,267	0,059	0,222

Водночас ця сполука характеризується високою реакційною здатністю: енергетична щільність становить 2,154 еВ (табл. 3). Тож молекули Ін 1, вірогідно, можуть утворювати поверхневі сполуки за рахунок передачі електронної густини з атома нітрогену, зокрема N1, на вільні d-орбіталі феруму. Це підтверджується наявністю ефекту післядії, який становить 48,2 % у 1М НСІ та 45,5 % у 0,1М розчині НСІ, тобто практично збігається зі ступенем захисту Ін 1 у відповідній кислоті.

Таблиця 3

Енергетичні характеристики похідних піримідину

Сполука	$E_{\text{НОМО}}, \text{eV}$	$E_{\text{ЛУМО}}, \text{eV}$	$\Delta E, \text{eV}$
Ін 1	-8,849	-6,695	2,154
Ін 2	-8,646	-0,578	8,068

Значно більшу площу екранування поверхні сталі і, відповідно, високий ступінь захисту забезпечує сполука 2, обидві гетероциклічні системи в молекулі якої розташовані в одній площині (табл. 2). Для Ін 2 характерна різна ефективність у досліджених розчинах хлоридної кислоти: коефіцієнт гальмування корозії у 0,1М розчині в 1,6 раза більше за такий у 1М розчині. Це пояснюється тим, що протонування молекули, як показали розрахунки за програмою ACD/LogD, відбувається при $\text{pH} < 0,3$ одночасно за двома атомами нітрогену N2 та N6 (табл. 2). Тобто у 0,1М НСІ молекула не протонувана, а в 1М розчині знаходиться у вигляді катіона. Для Ін 2 також характерна здатність утворювати поверхневі сполуки, про що свідчить збереження інгібувальної дії з підвищенням температури (табл. 1) та наявність ефекту післядії, який у 0,1М розчині НСІ виявлений на рівні 54,5 %. Низьке значення ефекту післядії, порівняно із захисним ефектом, зумовлено нижчою реакційною здатністю сполуки Ін 2, порівняно з Ін 1, на що вказує більша величина енергетичної щільності.

Дослідження більш ефективного при кислотній корозії Ін 2 за умов мікробної корозії показало його низьку інгібувальну дію. Ступінь захисту становить лише 22,4 %, що пояснюється відсутністю біоцидної дії на сульфатвідновлювальні бактерії – головний чинник мікробної корозії.

Висновки. Під час інгібування корозії у кислому хлоридному середовищі більш ефективною є похідна піримідину Іп 2 з двома конденсованими циклами, яка в 0,1М НСІ виявляє ступінь захисту до 94,8 % при концентрації 1 г/л. Для інгібування корозії у розчині сульфатної кислоти та мікробної корозії сталі досліджені похідні виявилися малоефективними, ступінь захисту не перевищує 39,9 та 22,4 % відповідно.

Список використаних джерел

1. *Металознавство* : [підручник] / О. М. Біляк, В. С. Черненко, В. М. Писаренко, Ю. Н. Москаленко. – К. : ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2008. – 384 с.
2. Кузнецов Ю. И. Физико-химические основы защиты металлов ингибиторами коррозии класса азолов / Ю. И. Кузнецов, Л. П. Казанский // *Успехи химии*. – 2008. – Т. 77, № 3. – С. 227–241.
3. Fouda A. S. Dimethyl Pyrimidine Derivatives as Corrosion Inhibitors for Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solutions / A. S. Fouda, Y. M. Abdallah, D. Nabil // *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. – 2014. – Vol. 3, Issue 5. – P. 12965–12982.
4. Parameswari K. Study on the Inhibition of Mild Steel Corrosion by Benzoisoxazole and Benzopyrazole Derivatives in H₂SO₄ Medium / K. Parameswari, S. Rekha, S. Chitra, E. Kayalvizhy // *Portugaliae Electrochimica Acta*. – 2010. – Vol. 28 (3). – P. 189–201.
5. Adsorption and Inhibitive Properties of Triazolopyrimidine Derivatives in Acid Corrosion of Mild Steel / K. Parameswari, S. Chitra, S. Kavitha [et al.] // *E-Journal of Chemistry*. – 2011. – Vol. 8 (3). – P. 1250–1257.
6. Comparative Study of Pyridine and Pyrimidine Derivatives as Corrosion Inhibitors of C38 Steel in Molar HCl / A. Ghazoui, R. Saddik, N. Benchat [et al.] // *International Journal of Electrochemical Science*. – 2012. – Vol. 7. – P. 7080–7097.
7. Протиковорозійні свойства соединений с замещенным триазолоазепиниевым циклом как эффект синергизма / И. Курмакова, С. Приходько, Н. Демченко [и др.] // *Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів* : в 2 т. Спецвипуск журналу «Фізико-хімічна механіка матеріалів». – 2010. – № 8. – С. 454–459.
8. Bentiss F. Heterocyclic compounds as corrosion inhibitors for mild steel in hydrochloric acid medium – correlation between electronic structure and inhibition efficiency / F. Bentiss, M. Lagrenee // *J. Mater. Environ. Sci.* – 2011. – Vol. 2 (1). – P. 13–17.
9. Демченко Н. Р. Метаболічна та корозійна активність сульфатвідновлювальних бактерій за присутності четвертинних солей триазолоазепінію / Н. Р. Демченко, І. М. Курмакова, О. П. Третяк // *Вісник Запорізького університету*. – 2008. – № 2. – С. 41–46.
10. Егоров Н. С. Основы учения об антибиотиках : [учеб. для биол. спец. ун-тов] / Н. С. Егоров. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Высш. шк., 1986. – 447, [1] с.
11. Связь адсорбционных и коррозионно-электрохимических параметров с электронным строением бензотиазола / Г. Л. Маковой, В. Г. Ушаков, В. К. Багин [и др.] // *Журнал прикладной химии*. – 1989. – Т. 62, № 6. – С. 1333–1338.
12. Ингибирующая активность моно-, би- и трициклических производных имидазола / В. Г. Старчак, Н. А. Кузина, Б. А. Прийменко [и др.] // *Журнал прикладной химии*. – 1997. – Т. 70, № 5. – С. 769–773.

References

1. Biliak, O. M., Chernenko, V. S., Pysarenko, V. M., Moskalenko, Yu. N. (2008). *Metaloznavstvo* [Physical metallurgy]: Kyiv: Politehnika, p. 384 (in Ukrainian).
2. Kuznetsov, Iu. I., Kazanskii, L. P. (2008). *Fiziko-khimicheskie osnovy zashchity metallov ingibitorami korrozii klassa azolov* [Physicochemical aspects of metal protection by azoles as corrosion inhibitors], *RussHemRev*, vol. 77 (3), pp. 219–232, doi: 10.1070/RC2008v077n03ABEH003753 (in Russian).
3. Fouda, A. S., Abdallah, Y. M., Nabil, D. (2014). Dimethyl Pyrimidine Derivatives as Corrosion Inhibitors for Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solutions. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. vol. 3, issue 5, pp. 12965–12982.
4. Parameswari, K., Rekha, S., Chitra, S., Kayalvizhy, E. (2010). Study on the Inhibition of Mild Steel Corrosion by Benzoisoxazole and Benzopyrazole Derivatives in H₂SO₄ Medium. *Portugaliae Electrochimica Acta*, vol. 28 (3), pp. 189–201.
5. Parameswari, K., Chitra, S., Kavitha, S (et al.) (2011). Adsorption and Inhibitive Properties of Triazolopyrimidine Derivatives in Acid Corrosion of Mild Steel. *E-Journal of Chemistry*. vol. 8 (3), pp. 1250–1257.
6. Ghazoui, A., Saddik, R., Benchat, N. (et al.) (2012). Comparative Study of Pyridine and Pyrimidine Derivatives as Corrosion Inhibitors of C38 Steel in Molar HCl. *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 7, pp. 7080–7097.
7. Kurmakova, I., Prikhodko, S., Demchenko, N. (et al.) (2010). Protivokorrozionnye svoystva soedinenii s zameshchennym triazoloazepinievim tsiklom kak effekt sinergizma [Anticorrosive properties of compounds with a substituted triazolo azepine cycle as a synergistic effect]. *Problemi korozii ta protikoroziynogo zakhistu materialiv: Spetcvipusk zhurnalu «Fiziko-khimichna mekhanika materialiv» – Problems of corrosion and corrosion protection of materials: special issue «Physicochemical mechanics of materials»*, no. 8, pp. 454–459 (in Ukrainian).
8. Bentiss, F., Bentiss, F., Lagrenee, M. (2011). Heterocyclic compounds as corrosion inhibitors for mild steel in hydrochloric acid medium – correlation between electronic structure and inhibition efficiency. *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 2 (1), pp. 13–17.
9. Demchenko, N. R., Kurmakova, I. M., Tretiak, O. P. (2008). Metabolichna ta koroziina aktyvnist sulfatvidnovliuvialnykh bakterii za prysutnosti chetvertynnykh solei tryazoloazepiniu [Metabolic and corrosion activity of sulfateregenerating bacteriums with occurrence of quaternary salts of triasoloazepinium]. *Visnyk Zaporizkoho universytetu – Visnyk of Zaporizhzhya National University*, no. 2, pp. 41–46 (in Ukrainian).
10. Egorov, N. S. (1986). *Osnovy ucheniia ob antibiotikakh* [Fundamentals of theory of antibiotics]. (4th ed., rev.). Moscow: Vyssh. shk., p. 447 (in Russian).

11. Makovei, G. L., Ushakov, V. G., Bagin, V. K. et al. (1989). Sviaz adsorbtsionnykh i korrozionno-elektrokhimicheskikh parametrov s elektronnyim stroeniem benzotiazola [Metabolic and corrosion activity of sulfate-reducing bacteria in the presence of quaternary triazolo azepine salts]. *Zhurnal prikladnoi khimii – Russian Journal of Applied Chemistry*, vol. 62, no. 6, pp. 1333–1338 (in Russian).

12. Starchak, V. G., Kuzina, N. A., Priimenko B. A et al. (1997). Ingibiruiushchaia aktivnost mono-, bi- i tritsiklicheskikh proizvodnykh [The inhibitory activity of mono-, bi- and tricyclic imidazole derivatives]. *Zhurnal prikladnoi khimii – Russian Journal of Applied Chemistry*, vol. 70, no. 5, pp. 769–773 (in Russian).

Бондар Олена Сергіївна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри хімії, Чернігівський національний університет імені Т. Г. Шевченка (вул. Гетьмана Полуботка, 53, м. Чернігів, 14013, Україна).

Бондарь Елена Сергеевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры химии, Черниговский национальный педагогический университет имени Т. Г. Шевченко (ул. Гетмана Полуботка, 53, г. Чернигов, 14013, Украина).

Bondar Olena - PhD in Technical Sciences, senior lecturer of department of chemistry, Chernihiv National Pedagogical University named after T. G. Shevchenko (53 Hetmana Polubotka Str., 14013 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kurmakova@mail.ru

УДК 664.661

Оксана Гуменюк, Марія Ксенюк, Руслан Ільїн
**УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ПРИГОТУВАННЯ БІЛОГО ХЛІБА
 З ДОБАВКОЮ ПШЕНИЧНИХ ЗЕРЕН**

Оксана Гуменюк, Мария Ксениук, Руслан Ильин
**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕЛОГО ХЛЕБА
 С ДОБАВКОЙ ПШЕНИЧНЫХ ЗЕРЕН**

Oksana Humeniuk, Mariia Kseniuk, Ruslan Ilin
**IMPROVING OF THE METHOD FOR PRODUCING WHITE BREAD WITH
 ADDITION OF WHEAT GRAINS**

Одним із способів збагачення білого хліба з борошна вищого гатунку є додавання в нього зерна злакових культур. Такий хліб відрізняється від звичайного підвищеним вмістом багатьох незамінних поживних речовин: білків, вітамінів, мінеральних елементів, харчових волокон та ін. Вживання збагаченого зерновими добавками хліба дозволить поліпшити роботу кишечника, зменшити ризик виникнення діабету, серцево-судинних захворювань, нормалізувати жовчовиділення тощо. Проведено дослідження щодо впливу різних видів зернових добавок (нелущеного пшеничного зерна, пшеничних круп № 1 і № 3) на фізико-хімічні та органолептичні показники білого хліба. Для приготування тіста обрали ферментацію на основі закваски, використання якої позитивно впливає на органолептичні властивості хліба, поліпшує текстуру й уповільнює процес черствіння хліба. На основі одержаних результатів запропоновані нові способи приготування білого хліба з добавкою пшеничних зерен.

Ключові слова: збагачений білий хліб, нелущене зерно, пшеничні крупи, біологічна та харчова цінність хліба, органолептичні показники хліба, пористість, кислотність хліба, закваска.

Рис.: 3. Табл.: 4. Бібл.: 10.

Одним из способов обогащения белого хлеба из муки высшего сорта является добавление в него зерна злаковых культур. Такой хлеб отличается от обыкновенного хлеба повышенным содержанием многих незаменимых питательных веществ: белков, витаминов, минеральных элементов, пищевых волокон и др. Употребление обогащенного зерновыми добавками хлеба позволит улучшить работу кишечника, уменьшит риск возникновения диабета, сердечнососудистых заболеваний, нормализует выделение желчи и т. д. Проведены исследования влияния различных видов зерновых добавок (неочищенного пшеничного зерна, пшеничных круп № 1 и № 3) на физико-химические и органолептические показатели белого хлеба. Для приготовления теста выбрали ферментацию на основе закваски, использование которой положительно влияет на органолептические свойства хлеба, улучшает текстуру и замедляет процесс черствения хлеба. На основе полученных результатов предложены новые способы приготовления белого хлеба с добавкой пшеничных зерен.

Ключевые слова: обогащенный хлеб, неочищенное зерно, пшеничные крупы, биологическая и пищевая ценность хлеба, органолептические показатели хлеба, пористость, кислотность хлеба, закваска.

Рис.: 3. Табл.: 4. Библ.: 10.

One way of enriching of white bread is to add of grain cereals. This bread is different from the usual bread increased content of many essential nutrients: protein, vitamins, minerals, fiber and so on. The use of such enriched bread will improve the bowels, reduce the risk of diabetes, heart disease, etc. normalize bile secretion. The impact of different types of grain additives (whole or almost-whole wheat grains) on the physico-chemical and organoleptic properties of white bread has been studied. For preparation of the dough was chosen sourdough fermentation, the use of which positively affect the organoleptic properties of bread, improves texture and slow process the staling of bread. Based on the results obtained the new methods of preparation of white bread with wheat grain have been proposed.

Key words: enriched bread, whole or almost-whole wheat grains, biological and nutritional value of bread, organoleptic parameters of bread, porosity and acidity of bread, sourdough.

Fig.: 3. Tabl.: 4. Bibl.: 10.