

ӘОЖ 620.197.3

ГТАХР 87.51.15

DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2025.99(3).141

¹Мұхтар Т.Ж., ²Сдикова Г.Ж., ³Далабаева Н.С.^{1,2} М.Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан³ Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: tanamuhtar@gmail.com, sdikova.guliya@mail.ru, nazgulds81@gmail.com

ФОСФОР ҚОСЫЛЫСТАРЫ НЕГІЗІНДЕГІ БЕЙОРГАНИКАЛЫҚ ИНГИБИТОРЛАРДЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІГІ ЖӘНЕ БОЛАТТЫҢ КОРРОЗИЯСЫНА ҚАРСЫ ТИІМДІЛІГІ

Аңдатпа. Мақалада болаттың коррозияға ұшырауын бәсеңдету үшін фосфор қосылыстары негізіндегі бейорганикалық ингибиторлардың тиімділігі мен экологиялық қауіпсіздігі зерттеледі. Натрий ортофосфаты (Na_2PO_4) және оның туындылары коррозияны тежейтін қорғаныс қабықшаларын түзе отырып, болаттың бетін агрессивті ортадан оқшаулайды. Зерттеу барысында гравиметриялық әдіс арқылы коррозия жылдамдығы анықталып, әртүрлі концентрациядағы ингибитор ерітінділерінің әсері салыстырылды. Сонымен қатар, қолданылған фосфатты ингибиторлардың қоршаған ортаға әсері талданып, улы қалдықтардың түзілмейтіні, яғни олардың экологиялық қауіпсіздігі дәлелденді. Нәтижелер фосфор негізіндегі бейорганикалық ингибиторларды металл құрылымдарын қорғауда тиімді әрі экологиялық балама ретінде пайдалануға болатынын көрсетті. Бұл зерттеу экологияға зияны аз технологияларды дамытуға үлес қосады.

Кілт сөздер: коррозия; болат; бейорганикалық ингибитор; натрий ортофосфаты; қорғаныс қабықша; коррозия жылдамдығы; экологиялық қауіпсіздік; агрессивті орта.

Kipicne

Қазіргі таңда металл конструкцияларының, әсіресе болат материалдарының, коррозияға ұшырауы – өнеркәсіп, құрылыс және көлік салаларындағы маңызды техникалық әрі экономикалық мәселелердің бірі болып табылады. Коррозия тек қана материалдың қызмет ету мерзімін қысқартумен шектелмей, сонымен қатар экологиялық қауіп-қатер тудырып, өндірістік және энергетикалық шығындарды арттырады. Осыған байланысты, болатты агрессивті ортада коррозиядан тиімді әрі қауіпсіз қорғау жолдарын табу өзекті ғылыми-зерттеу бағыттарының бірі болып отыр [1].

Коррозияға қарсы қорғаныс әдістерінің ішінде химиялық ингибиторларды қолдану кеңінен таралған. Ингибиторлар – металл мен сыртқы орта арасындағы реакцияны бәсеңдететін немесе толық тоқтататын заттар. Соңғы жылдары бейорганикалық негіздегі ингибиторлардың, соның ішінде фосфор қосылыстарының коррозияға қарсы тиімділігіне ерекше назар аударылуда. Бұл



қосылыстар болат бетінде тұрақты және тығыз пассивациялық қабат түзе отырып, оны сыртқы химиялық әсерден қорғай алады [2].

Сонымен қатар, өнеркәсіптің тұрақты даму принциптері мен экологиялық қауіпсіздік талаптары коррозия ингибиторларының қоршаған ортаға зиянсыз болуын талап етеді. Осы тұрғыдан алғанда, фосфаттар экологиялық жағынан бейтарап әрі тиімді ингибиторлар ретінде танылып отыр. Олар суда жақсы еритін, уытты емес және табиғи ортада оңай ыдырайтын қосылыстар қатарына жатады [3,4].

Осы зерттеудің мақсаты – фосфор қосылыстары негізіндегі бейорганикалық ингибиторлардың болаттың коррозиясына қарсы әсерін тәжірибелік жолмен зерттеу және олардың экологиялық қауіпсіздігін бағалау. Бұл бағыттағы зерттеу нәтижелері металл конструкцияларын қорғаудың тиімді, әрі экологиялық тұрғыдан қауіпсіз әдістерін әзірлеуге мүмкіндік береді [5, 57 б.].

Коррозия ингибиторын "жасыл реагенттерге" жатқызу үшін келесі шарттарды орындау қажет: табиғи ортадағы биологиялық ыдырау, биоаккумуляцияға бейімсіз және су ортасына қатысты уыттылықтың нөлдік немесе өте төмен деңгейі [6].

Химиялық заттың биологиялық ыдырау қабілеті оның тұрақтылығының негізгі критерийлерінің бірі болып табылады [7, 38 б.]. Биодegradация - заттың ыдырау метаболизм процестері нәтижесінде көмірқышқыл газы мен суға ыдырау процесі. Заттың ыдырауға бейімділігіне оның құрылымы мен микроорганизмдердің белсенділігі көбірек әсер етеді [8].

Биоаккумуляция химиялық заттардың тірі организмдерге уытты әсерінің ажырамас бөлігі болып табылады. Биоаккумуляция - химиялық заттың судан, ауадан, тамақтан және топырақтан шыққан кезде тірі организмде жиналу қабілеті [9].

Зерттеу материалдары мен әдістері

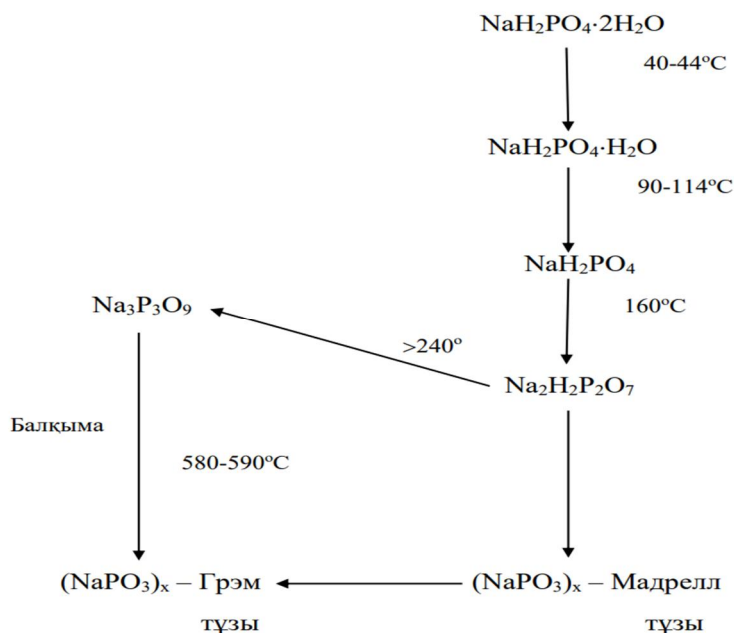
Зерттеу объектісі ретінде 12Х18Н10Т болаттан жасалған таспалар алынды.

Құрамы: массалық үлесі 0,12%-дан аспайтын көміртек; 18% хром; 10% никель; 0,8%-дан аспайтын титан.

Үлгінің беті механикалық тегістелді және NaOH ерітіндісімен 60-80°C майсыздандырылды. Майсыздандыру дәрежесі үлгінің бетін сумен толығымен сулау арқылы бақыланады. Майсыздандырудан кейін пинцет көмегімен сынамалармен одан әрі сынақтарын орындау керек [10]. Үлгінің бетін активтендіру үшін оны сынамас бұрын 1 минут ішінде 15% тұз қышқылының ерітіндісіне батырылып, содан кейін ағынды және дистилденген сумен жақсылап шайылып, сүзгі қағазымен құрғатылып, оралады, құрғатқыш кептіргішке салып және аналитикалық таразыларға 0,0001 г аспайтын қателікпен өлшенді [11].

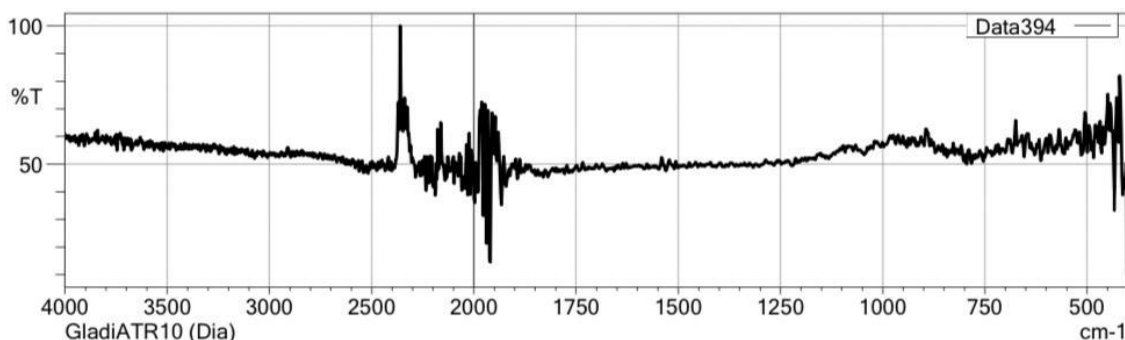
Зерттеу нәтижелері

Натрий дигидромонофосфатын 40-44°C-та 45 мин, 90-114°C-та 45 мин, 160°C-та 90 мин, 240°C-та 180 мин, 580-590°C-та 300 мин қыздырып, Грэм тұзы ингибиторы алынды [12]. Натрий дигидромонофосфатын қыздыру арқылы ингибитор алу схемасы 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1 – Натрий дигидромонофосфатын қыздыру схемасы

Грэм тұзы ингибиторының IRTracer-100 құрылғысында алынған инфрақызыл спектрі 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2 – Грэм тұзының ИҚ спектрлері

Коррозия ингибиторларының әсерін зерттеу үшін болат таспалары төмендегі орталарда салыстырылды:

- Құбыр суы;
- Теңіз суы;
- Қабат суы;
- 3% NaCl ерітіндісі;
- H_2SO_4 , HCl , HNO_3 – әрқайсысы 0,025 М, 0,05 М, 0,1 М концентрацияларында [13].

Әр түрлі орталарға зерттелген болат таспаларының 2; 4; 8 тәуліктегі сынақ мәндері

кестеде көрсетілді: а-таспаның ұзындығы, b- таспаның ені, h- таспаның биіктігі, m_1 - сынамаға дейінгі таспаның массасы, m_2 - сынамадан кейінгі таспаның массасы.

Кесте – Әр түрлі орталардағы болат таспаларының сынақ мәндері (2; 4; 8 тәулік)

2 тәулік					
Орта	a, мм	b, мм	h, мм	m_1 , г	m_2 , г
құбыр суы	39,200	19,295	2,690	16,107	16,108
теңіз суы	39,090	19,325	2,815	16,828	16,829
NaCl 3% ерітіндісі	38,875	18,910	2,145	16,224	16,224
қабат суы	38,580	18,560	2,120	16,306	16,320
HCl 0,1 М	38,510	18,120	2,185	15,767	15,767
HCl 0,05 М	38,705	18,015	2,150	17,163	17,159
HCl 0,025 М	38,775	18,205	2,160	16,112	16,111
HNO ₃ 0,1 М	38,000	18,580	2,145	16,046	16,046
HNO ₃ 0,05 М	38,355	18,495	2,210	16,812	16,811
HNO ₃ 0,025 М	38,580	18,600	2,090	16,308	16,978
H ₂ SO ₄ 0,1 М	39,125	19,185	2,775	16,667	16,309
H ₂ SO ₄ 0,05 М	39,710	19,380	2,840	17,111	16,668
H ₂ SO ₄ 0,025 М	38,960	18,565	2,930	15,991	17,111
4 тәулік					
Орта	a, мм	b, мм	h, мм	m_1 , г	m_2 , г
құбыр суы	38,970	19,325	2,665	16,800	16,800
теңіз суы	39,425	19,365	2,645	17,142	17,142
NaCl 3% ерітіндісі	38,985	18,780	2,795	16,800	16,799
қабатт суы	38,450	18,895	2,725	16,648	16,650
HCl 0,1 М	39,140	18,595	2,625	16,033	16,033
HCl 0,05 М	38,990	19,180	2,735	16,804	16,804
HCl 0,025 М	39,130	18,885	2,535	16,090	16,090
HNO ₃ 0,1 М	39,480	19,500	2,745	17,088	17,089
HNO ₃ 0,05 М	38,615	18,675	2,635	16,101	16,101
HNO ₃ 0,025 М	38,730	18,820	2,685	16,217	16,216
H ₂ SO ₄ 0,1 М	38,915	19,260	2,615	16,280	16,280
H ₂ SO ₄ 0,05 М	38,970	19,165	2,675	15,745	15,746
H ₂ SO ₄ 0,025 М	39,120	18,470	2,645	16,779	16,776
8 тәулік					
Орта	a, мм	b, мм	h, мм	m_1 , г	m_2 , г
құбыр суы	39,615	19,320	2,660	17,104	17,102
теңіз суы	38,925	18,585	2,585	15,765	15,763
NaCl 3% ерітіндісі	38,815	18,815	2,720	16,661	16,669
қабат суы	38,790	18,990	2,630	16,043	16,045
HCl 0,1 М	38,985	19,170	2,600	16,098	16,097

HCl 0,05 M	38,820	18,630	2,715	16,221	16,220
HCl 0,025 M	38,870	19,280	2,675	16,809	16,806
HNO ₃ 0,1 M	38,600	18,780	2,690	16,112	16,107
HNO ₃ 0,05 M	38,830	19,150	2,665	16,821	16,821
HNO ₃ 0,025 M	39,343	19,325	2,660	17,148	17,147
H ₂ SO ₄ 0,1 M	38,995	19,260	2,710	16,289	16,287
H ₂ SO ₄ 0,05 M	39,230	19,015	5,390	17,977	16,780
H ₂ SO ₄ 0,025 M	38,935	18,735	2,755	16,809	16,807

Алғашқы күндері болат бетінде коррозия байқалмайды немесе өте баяу жүреді. 8 тәулік өткен соң массаның елеулі азаюы байқалды - бұл коррозиялық әсердің қарқындылығын көрсетеді [14].

Қорытынды

Бұл зерттеуде болаттың әртүрлі агрессивті орталарда коррозияға ұшырау ерекшеліктері зерттеліп, оның салдарынан болатын массалық өзгерістер анықталды. Зерттеу барысында болат таспалары нақты химиялық және табиғи орталарға (кұбыр суы, теңіз суы, қабат суы, NaCl, HCl, H₂SO₄, HNO₃ ерітінділері) 2, 4 және 8 тәулікке орналастырылып, тәжірибе нәтижелері салыстырмалы түрде талданды.

Коррозия деңгейін бағалау үшін болат таспаларының бастапқы (m_1) және соңғы (m_2) массалары өлшенді. Келесі нәтижелер алынды:

1) Алғашқы 2 және 4 тәулікте болат массасының өзгерісі өте аз, кейбір жағдайларда массаның аздап артуы байқалды - бұл ылғал сіңу немесе өлшеу қатесімен түсіндіріледі.

2) 8 тәулік ішінде барлық үлгілерде массаның нақты төмендеуі байқалып, бұл кезеңде коррозияның белсенді жүруін көрсетті.

3) Коррозия қарқынының уақытқа байланысты артуы - болатты ұзақ мерзімді қорғау қажеттілігін дәлелдейді.

Бұл нәтижелер фосфоркүрамдас ингибиторларды болашақта зерттеп, оларды қолдану арқылы болатты агрессивті ортада тиімді қорғауға болатынын көрсетеді. Әдістердің алуан түрлілігі және оларды жүйелендіру қоршаған ортаға теріс техногендік әсерді азайту мақсатында өндірістерде биологиялық ыдырау, улылық және биоаккумуляция зерттеулерін енгізуге болады. Жоғары тиімді және экологиялық таза коррозия ингибиторларын әзірлеу кешенді тәсіл мен заманауи шешімдерді қажет ететін маңызды міндет болып табылады. Коррозия ингибиторларын фитоэкстракция әдісімен және басқа да экологиялық бағдарланған тәсілдерді қолдану арқылы өндірістік процестердің тиімділігін арттырып, олардың қоршаған ортаға теріс әсерін төмендетуі мүмкін.

ӘДЕБИЕТ

1] Ivanov, P. A., & Sokolov, A. I. (2023). Development of phosphorus-based corrosion inhibitors for steel pipelines // Corrosion Science and Engineering, 58(2), 95–104.



- [2] Zhao, W., et al. (2021). Eco-friendly phosphate-based corrosion inhibitors: Synthesis, performance, and mechanism // *Journal of Molecular Liquids*, 342, 117513. DOI: 10.1016/j.molliq.2021.117513
- [3] Калиева Ж.А., Сатпаева Н.Б. (2020). Болат конструкцияларын коррозиядан қорғау әдістері // *ҚазҰУ Хабаршысы. Химия сериясы.* – №4(72), 40–45.
- [4] Shadnia, H., & Toroghinejad, M. R. (2019). Corrosion behavior of steel in simulated environments with phosphate additives // *Materials Chemistry and Physics*, 232, 205–212.
- [5] Сағындықов Б.Ж. (2018). Металдарды коррозиядан қорғаудың теориялық негіздері. Алматы: Қазақ университеті, 172 б.
- [6] Musa, Y., & Adeyemi, O. (2022). Green corrosion inhibitors from plant extracts and phosphate derivatives // *Arabian Journal of Chemistry*, 15(1), 103659.
- [7] Промысловая химия. Ингибиторы коррозии / М.А. Силин [и др.]. - м. : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2021. - 107 с.
- [8] A critical review on the recent studies on plant biomaterials as corrosion inhibitors for industrial metals / S.A. Umoren [et al.] // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. - 2019. - №76. - P. 91-115.
- [9] Хасилов И.Н., Маматова Ф.К. исследования совершенствования методов анализа и контроля качества химических продуктов // *Universum: технические науки : электрон. научн. журн.* 2024. 3(120).
- [10] Li, X., Feng, Y., Liu, J., Liu, X. Environmentally friendly corrosion inhibitors: Recent progress in the design and application of green phosphorus-based compounds. *Journal of Molecular Liquids*, 2021, 342: 117521.
- [11] Нарзуллаев А.Х., Бекназаров Х.С., Ниёзкулов Ш.Ш Синтез растворимой ингибирующей коррозии в воде, нефти, газовом конденсате, содержащем аминокислоты, и изучение влияния алюминия на металл *Universum: технические науки* 2020 Выпуск журнала «Universum: технические науки» №6(75).
- [12] Новожилова А.И., Валиев А.Д., Земский Д.Н., Линькова Т.С. «Разработка эффективного состава антикоррозионной защиты технологического оборудования» // *Вода: химия и экология*, 2023. (маслорастворимые ингибиторы, экология).
- [13] G. Rakhmatova Gravimetric determination of the inhibitory property against metal corrosion of substances obtained on the basis of thiaindan and thiochroman a-amino ketones *Universum: технические науки: научный журнал.* - №10(103). Часть ISSN :2311 -5122 DOI: 10.32743/UniTech.2022.103.
- [14] Инфорович С. Ю. «Исследование эффективности ингибиторов коррозии в среде КАС для стали марки СТ08КП» // Тезисы конференции БГТУ (Минск, 2023).

REFERENCES

- [1] Ivanov, P. A., & Sokolov, A. I. (2023). Development of phosphorus-based corrosion inhibitors for steel pipelines // *Corrosion Science and Engineering*, 58(2), 95–104. [in English]

- [2] Zhao, W., et al. (2021). Eco-friendly phosphate-based corrosion inhibitors: Synthesis, performance, and mechanism // *Journal of Molecular Liquids*, 342, 117513. DOI: 10.1016/j.molliq.2021.117513 [in English]
- [3] Kalieva J.A., Satpaeva N.B. (2020). Bolat konstruksialaryn koroziadan qorǵau әдістері // *QazҰU Habarşysy. Himia seriasy.* – №4(72), 40–45. [in Kazakh]
- [4] Shadnia, H., & Toroghinejad, M. R. (2019). Corrosion behavior of steel in simulated environments with phosphate additives // *Materials Chemistry and Physics*, 232, 205–212. [in English]
- [5] Saǵyndyqov B.J. (2018). Metaldardy koroziadan qorǵaudyñ teorialyq negizderi. Almaty: Qazaq universiteti, 172 b. [in Kazakh]
- [6] Musa, Y., & Adeyemi, O. (2022). Green corrosion inhibitors from plant extracts and phosphate derivatives // *Arabian Journal of Chemistry*, 15(1), 103659. [in English]
- [7] Promyslovaja himija. Ingibitory korrozii / M.A. Silin [i dr.]. - m. : RGU nefti i gaza (NIU) imeni I.M. Gubkina, 2021. - 107 s. [in Russian]
- [8] A critical review on the recent studies on plant biomaterials as corrosion inhibitors for industrial metals / S.A. Umoren [et al.] // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry.* - 2019. - №76. - P. 91-115. [in English]
- [9] Hasilov I.N., Mamatova F.K. issledovaniya sovershenstvovaniya metodov analiza i kontrolja kachestva himicheskikh produkcij // *Universum: tehnicheckie nauki : jelektron. nauchn. zhurn.* 2024. 3(120). [in Russian]
- [10] Li, X., Feng, Y., Liu, J., Liu, X. Environmentally friendly corrosion inhibitors: Recent progress in the design and application of green phosphorus-based compound. *Journal of Molecular Liquids*, 2021, 342: 117521. [in English]
- [11] Narzullaev A.H., Beknazarov H.S., Nijozkulov Sh.Sh Sintez rastvorimoj ingibirujushhej korrozii v vode, nefti, gazovom kondensate, soderzhashhem aminokisloty, i izuchenie vlijaniya aljuminija na metall *Universum: tehnicheckie nauki* 2020 Vypusk zhurnala «*Universum: tehnicheckie nauki*» №6(75). [in Russian]
- [12] Novozhilova A.I., Valiev A.D., Zemskij D.N., Lin'kova T.S. «Razrabotka jeffektivnogo sostava antikorroziionnoj zashhity tehnologicheskogo oborudovaniya» // *Voda: himija i jekologija*, 2023. (maslorastvorimye ingibitory, jekologija). [in Russian]
- [13] G. Rakhmatova Gravimetric determination of the inhibitory property against metal corrosion of substances obtained based on thiaindan and thiochroman a-amino ketones *Universum: tehnicheckie nauki: nauchnyj zhurnal.* - №10(103). Chast' ISSN :2311 -5122 DOI: 10.32743/UniTech.2022.103. [in English]
- [14] Inforovich S. Ju. Issledovanie jeffektivnosti ingibitorov korrozii v srede KAS dlja stali marki ST08KP // *Tezisy konferencii BGTU (Minsk, 2023).* [in Russian]



Мухтар Т.Ж., Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С.
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОТИВ
КОРРОЗИИ СТАЛИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ИНГИБИТОРОВ НА ОСНОВЕ
СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА

Аннотация. В статье исследуется эффективность и экологическая безопасность неорганических ингибиторов на основе соединений фосфора для замедления коррозии стали. Ортофосфат натрия (Na_3PO_4) и его производные изолируют поверхность стали от агрессивной среды, образуя защитные пленки, препятствующие коррозии. В ходе исследования с помощью гравиметрического метода определяли скорость коррозии и сравнивали влияние растворов ингибиторов в различных концентрациях. Кроме того, было проанализировано воздействие используемых ингибиторов фосфатов на окружающую среду, и было доказано, что токсичные отходы не образуются, то есть они экологически безопасны. Результаты показали, что неорганические ингибиторы на основе фосфора могут быть использованы в качестве эффективной и экологической альтернативы для защиты металлоконструкций. Это исследование вносит свой вклад в разработку безопасных для экологии технологий.

Ключевые слова: коррозия; сталь; неорганический ингибитор; ортофосфат натрия; защитная пленка; скорость коррозии; экологическая безопасность; агрессивная среда.

Mukhtar Tanagoz, Sdikova Guliya, Dalabayeva Nazgul
ENVIRONMENTAL SAFETY AND EFFECTIVENESS AGAINST STEEL
CORROSION OF INORGANIC INHIBITORS BASED ON PHOSPHORUS
COMPOUNDS

Annotation. The article examines the effectiveness and environmental safety of inorganic inhibitors based on phosphorus compounds to slow down steel corrosion. Sodium orthophosphate (Na_3PO_4) and its derivatives insulate the surface of steel from an aggressive environment, forming protective films that prevent corrosion. During the study, the corrosion rate was determined using the gravimetric method and the effect of inhibitor solutions in different concentrations was compared. In addition, the impact of the phosphate inhibitors used on the environment was analyzed, and it was proved that toxic waste is not generated, that is, they are environmentally safe. The results showed that phosphorus-based inorganic inhibitors can be used as an effective and ecological alternative to protect metal structures. This research contributes to the development of less environmentally harmful technologies.

Keywords: corrosion; steel; inorganic inhibitor; sodium orthophosphate; protective film; corrosion rate; environmental safety; aggressive environment.