

ISSN 2518-1483 (Online),
ISSN 2224-5227 (Print)

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№2
2026**

ISSN 2518-1483 (Online),
ISSN 2224-5227 (Print)

2026 • 2



ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

Editor-in-Chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of IAAS and NAS RK, General Director of the Research Institute of Petroleum Refining and Petrochemicals (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960> <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Editorial Board:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the JSC "Phytochemistry Research and Production Center", (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

RAMAZANOV Tlekkaul Sabitovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

ABIEV Rufat, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

OLIVIERO Rossi Cesare, PhD (Chemistry), Professor at the University of Calabria (Calabria, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

TIGINYANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

SANG SU Kwak, PhD (Biochemistry, Agricultural Chemistry), Professor, Chief Scientist, Research Center for Plant Systems Engineering, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

BERSIMBAYEV Rakhmetkazhi Iskenderovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

CALANDRA Pietro, PhD (Physics), Professor, Institute for the Study of Nanostructured Materials (Rome, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

BOSHKAEV Kuantai Avgazyevich, PhD, Associate Professor, Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

BURKITBAEV Mukhambetkali, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

QUEVEDO Hernando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ZHUSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of NAS of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

TAKIBAEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

KHARIN Stanislav Nikolaevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

ABISHEV Medeu Erzhanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Corresponding Member of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

ABILMAGZHANOV Arlan Zainutallaevich, PhD in Chemistry, First Deputy Director General of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky", (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES.

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of Information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan № **KZ93VPY00121157** issued **05.06.2025**

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрыңұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ХҒАҚ және ҚР ҰҒА академигі, Мұнай өңдеу және мұнай-химиясы ғылыми-зерттеу институтының бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%3A>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакция ұжымы:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нұрәділұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, "Фитохимия" ғылыми-өндірістік орталығы " АҚ директоры (Қарағанды, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

РАМАЗАНОВ Тілеккабыл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

ӘБИЕВ Руфат, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны оңтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

ОЛИВЬЕРО Росси Сесаре, PhD (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

ТИГІНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

САНГ-СУ Квак, PhD (биохимия, агрохимия), профессор, Корея Биология және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIIBV), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. (Астана, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

КАЛАНДРА Пьетро, PhD (физика), нанотехнология материалдары зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

QUEVEDO Hernando, профессор, Мексика ұлттық автономиялық университеті (UNAM), Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

ӘБІШЕВ Медеу Ержанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

ӘБІЛМАҒЖАНОВ Арлан Зайнуталлайұлы, химия ғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы "Отын, катализ және электрохимия институты" АҚ Бас директорының бірінші орынбасары, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы қ.).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі **05.06.2025 ж.** берген № **KZ93VPY00121157** Куәлік.

Тақырыптық бағыты: *физика, химия.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик МАН и НАН РК, Генеральный директор НИИ нефтепереработки и нефтехимии (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%3Cp%3Ehttps://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

АДЕКЕНОВ Сергезы Мынжасарович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор АО "Научно-производственного центра "Фитохимия" (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

АБИЕВ Руфат, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

ОЛИВЬЕРО Росси Чезаре, доктор философии (PhD, химия), профессор Университета Калабрии (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

САНГ-СУ Квак, доктор философии (PhD, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэжон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендерович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (PhD, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, PhD, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

БУРКИТБАЕВ Мухамбеткали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

QUEVEDO Hernando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

ТАКИБАЕВ Нурғали Жабағәевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

АБИШЕВ Медеу Ержанович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

АБИЛМАТЖАНОВ Арлан Зайнуталлаевич, кандидат химических наук, первый заместитель генерального директора АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Собственник: ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).

Свидетельство № KZ93VPY00121157 о повторной регистрации периодического печатного издания информационного агентства, информационного агентства и сетевого издания, выданное Республиканским государственным учреждением «Комитет информации» Министерства культуры и информации Республики Казахстан 05.06.2025

Тематическая направленность: физика, химия.

Периодичность: 4 раза в год.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2026

CONTENTS

PHYSICS

Koshtybayev T.B., Aliev Sh., Aliyeva M.E., Zhavliyeva A.T. Covariant approach to the kinetic theory of plasma in a strong electromagnetic field.....	13
Kemelbekova A., Shongalova A., Bondar E., Otunchi Ye. Recycling technologies for spent lithium-ion batteries: environmental impact, recovered products, and future development trends.....	25
Koilyk N., Baimbetova G., Dalelkhankyzy A., Kaptagay G., Primkulova Zh. Simplification of the fermionic dynamical symmetry model for identical particles and its mapping into bosonic space.....	38
Massak B., Agyl-Mussapar O., Amangeldinova S., Kurmangaliyeva V., Snow M. Constraints on Yukawa-Type short-range interactions from neutron interferometry data.....	60
Nurbayev B.M., Dmitriyeva E.A. Tin-based perovskites.....	70
Nurtazina A.S., Zhubaev A.K. Study of the effect of highly dispersed ochre on the kinetic characteristics of epoxy composites.....	92
Shokanov A.K., Khamrayev Sh.I., Smikhan Y.A. Mössbauer studies of fly ash-based tracers.....	103
Ualikhanova U.A., Kurban Y.Y., Syzdykova A.M., Altayeva G.S., Altaibayeva A.B. Breaking the degeneracy between metric and teleparallel gravity theories through multi-messenger gravitational-wave astronomy.....	119
Zhadyranova A.A., Yerzhan B. Dynamics of bounce regimes in modified teleparallel gravity.....	134
Zhusupova N.K. Application of machine learning methods in the analysis of gravitational waves and cosmological models.....	151

CHEMISTRY

Aubakirov Ye., Akhmetova F., Tashmukhambetova Zh., Toshtay K., Amantaiuly K. Conversion of Polymer Waste into Synthetic Fuel via Modification of Taizhuzhen Zeolite with Tungsten Salts.....	164
Auyeshov A.P., Eskibayeva Ch.Z., Ibrayeva A.M., Alzhanov K.B., Dikanbayeva A.K. Physicochemical study of serpentinite waste and phosphoric acid products.....	175
Bayeshova A.K., Bayeshov A., Tuleshova E.Zh. Reduction of copper ions by zinc in the presence of titanium(iv) ions in sulfuric acid solutions.....	188

Fazylov S.D., Syzdykov A.K., Pustolaikina I.A., Kazhmuratova A.T., Tazhibay A.M. Production of α -, β -, γ -oligosaccharide clathrate cytosine complexes.....	200
Jalmakhanbetova R.I., Yelshibayeva A.M., Zhumagaliyeva Zh.Zh., Mukusheva G.K. Terpenoid compounds of <i>Artemisia terrae-albae</i> growing in the Turkestan Region of Kazakhstan.....	213
Kapizov O.S., Mukhanov D.K., Dzheldybaeva I.M., Seisenov E.B., Akimbayeva A.B. Sustainable recycling of ferrosilicon machining chips from metallurgical plants into high-performance silicon–carbon anodes.....	228
Massalimova B.K. Wastewater treatment methods for heavy metal removal: production of activated carbon from biomass.....	244
Nurtai Zh., Orynassar R., Aimaganbetova Z.K., Zhanturina N.N. Simulation of kinetic parameters of vinyl ester resin samples with diatomite and dimethyl methylphosphonate fillers.....	272
Sagyntayeva A., Zhanikulov N., Sudarev E., Kaiyrbaeva M., Zhakipbayev B. Research on the quality of raw materials for obtaining gypsum-cement-pozzolanic composite material.....	286
Satayeva S., Yermukhanova S., Urazova A., Mendygaliyeva A., Sabitov B. Obtaining benzene by photocatalytic oxidation of toluene.....	302
Sdikova G.Zh., Dalabayeva N.S., Sarova N.B., Muhtar T.Zh., Zhaltirbayeva N.K. Efficiency of phosphorus-containing inhibitors in protecting steel against corrosion.....	315
Shaimardan M., Azhikhanova Z., Abutalip M., Toktarbaiuly O. Isolation and Characterization of lignin from <i>Phlomis tuberosa</i> L. biomass via acid treatment.....	329
Yesimsiitova Z.B., Seisenova A., Oryngaliyeva S.Zh., Sanuar A., Manap K.R. Obtaining carbonized materials from rice husk using a mobile pyrolysis plant for energy applications.....	338
Zhetenova M.S., Suleimenova M.Sh., Nuraly A.M., Mutushev A.Zh., Kalimoldina L.M. Development and research of carotenoid-containing extracts obtained from plant raw materials.....	353
Zhortarova A.A., Kubicek V., Salkeyeva L.K., Ibrayev M.K., Seidakhmetova R.B. Synthesis and investigation of biological activity of 1,3-Bis(4-Phenylthiazol-2-yl)-2,4-Bis(N,N- Diethylamino)-1,3-Diaza-2,4-Diphosphétidine.....	367
Zhumabek M., Tungatarova S.A., Murzin D.Yu., Baizhumanova T.S. Structural and catalytic properties of SCS-derived Co–Al–Mg–Mn catalysts in dry reforming of methane.....	383

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

Қоштыбаев Т.Б., Алиев Ш., Алиева Е.М., Жавлиева А.Т. Күшті электромагниттік өрістегі плазманың кинетикалық теориясына коварианттық көзқарас.....	13
Кемелбекова А., Шонғалова А., Бондарь Е., Отунчи Е. Пайдаланылған литий-ионды аккумуляторларды қайта өңдеу технологиялары: экологиялық әсері, алынатын өнімдер және болашақ даму бағыттары.....	25
Қойлық Н.О., Байымбетова Г.А., Дәлелханқызы А., Қаптағай Г.А., Примкулова Ж.Е. Бірдей бөлшектер үшін фермионды динамикалы-симметриялық модельді ықшамдау және оны бозондық кеңістікке бейнелеу.....	38
Масақ Б., Ағыл-Мұсапар О., Амангелдинова С., Курманғалиева В., Сноу М. Нейтрондық интерферометрия негізінде юкава типті қысқа-қашықтықтағы өзара әсерлесулерге шектеулер қою.....	60
Нұрбаев Б.М., Дмитриева Е.А. Қалайы негізіндегі перовскиттер.....	70
Нуртазина А.С., Жубаев А.К. Дисперстілігі жоғары охраның эпоксидті композиттердің кинетикалық сипаттамаларына ықпалын зерттеу.....	92
Шоканов А.К., Хамраев Ш.И., Смихан Е.А. Ұшқыш күл негізіндегі трассерлердің мессбауэрлік зерттеулері.....	103
Уалиханова У.А., Құрбан Е.Е., Сыздыкова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б. Көп арналы гравитациялық-толқындық астрономия арқылы метрикалық және телепараллельді гравитация теорияларының айырмашылығын зерттеу.....	119
Жадыранова А.А., Ержан Б. Модификацияланған телепараллель гравитациядағы серпіліс режимдерінің динамикасы.....	134
Жусупова Н.К. Машиналық оқыту әдістерін гравитациялық толқындар мен космологиялық модельдерді талдауда қолдану.....	151

ХИМИЯ

Аубакиров Е., Ахметова Ф., Ташмұхамбетова Ж., Тоштай Қ., Амантайұлы Қ. Тайжүзген цеолитін вольфрам тұздарымен модификациялау арқылы полимер қалдықтарын синтетикалық отынға түрлендіру.....	164
Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Диканбаева А.К. Серпентинит қалдықтарының фосфор қышқылымен әрекеттесу өнімдерінің физика-химиялық зерттелуі.....	175

Башова А.К., Башов А.Б., Түлешова Э.Ж.

Мыс иондарын күкіртқышқылды ерітінділерде титан (IV) иондары қатысында мырышпен тотықсыздандыру.....188

Фазылов С.Д., Сыздықов А.К., Пустолайкина И.А., Қажмұратова А.Т., Тәжібай А.М.
Цитизиннің α -, β -, γ -олигосахаридтермен клатраттыкешендерін алу.....200

Джалмаханбетова Р.И., Елшібаева А.М., Жумагалиева Ж.Ж., Мукушева Г.К.
Қазақстанның Түркістан өңірінде өсетін *Artemisia terrae-albae* терпеноидты қосылыстары.....213

Капизов О.С., Муханов Д.К., Желдыбаева И.М., Сейсенев Е.Б., Акимбаева А.Б.
Металлургиялық зауыттардың ферросилиций жоңқаларын жоғары өнімді кремний-көміртекті анодтарға тұрақты қайта өңдеу.....228

Масалимова Б.К.
Ауыр металдардан ағын суларды жою әдістері: биомассада белсендендірілген көміртек алу.....244

Нуртай Ж., Орынбасар Р.О., Аймағанбетова З.К., Жантурина Н.Н.
Диатомит пен диметил метилфосфонат толтырғыштары бар винилэфир шайыр үлгілерінің кинетикалық параметрлерінің модельдеу.....272

Сағынтаева А., Жаниқұлов Н., Сударев Е., Қайырбаева М., Жакипбаев Б.
Гипс-цемент-пуццоланды композициялық материал алу үшін қажетті шикізаттардың сапасын зерттеу.....286

Сатаева С., Ермуханова С., Уразова А., Мендығалиева А., Сабитов Б.
Толуолдың фотокаталитикалық тотығуы арқылы бензол алу.....302

Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Сарова Н.Б., Мұхтар Т.Ж., Жалтырбаева Н.К.
Фосфор ингибиторлардың болаттың жемірілуіне қарсы тиімділігі.....315

Шаймардан М., Ажиханова Ж., Әбутәліп М., Тоқтарбайұлы О.
Phlomis Tuberosa L. өсімдігі биомассасынан лигнинді қышқылдық өңдеу арқылы бөліп алу және сипаттау.....329

Есимсиитова З.Б., Сейсенова А., Орынғалиева С.Ж., Сануар А., Манап К.Р.
Энергиялық қолдану үшін жылжымалы пиролиз қондырғысын пайдалану арқылы күріш қауызынан көміртекті материалдар алу.....338

Жетенова М.С., Сүлейменова М.Ш., Нұралы Ә.М., Мутушев А.Ж., Калимолдина Л.М.
Өсімдік шикізатынан алынған құрамында каротиноид бар сығындыларды әзірлеу және зерттеу.....353

Жортарова А.А., Kubicek V., Салькева Л.К., Ибраев М.К., Сейдахметова Р.Б.
1,3-бис(4-фенилтиазол-2-ил)-2,4-бис(N,N-диэтиламино)-1,3-диазо-2,4-дифосфетидиннің
синтезі және биологиялық белсенділігін зерттеу.....367

Жұмабек М., Тунгатарова С.А., Мурзин Д.Ю., Байжуманова Т.С.
SCS әдісімен дайындалған Co–Al–Mg–Mn катализаторларының метанның құрғақ
реформингіндегі құрылымдық және каталитикалық қасиеттері.....383

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Коштыбаев Т.Б., Алиев Ш., Алиева М.Е., Жавлиева А.Т. Ковариантный подход к кинетической теории плазмы в сильном электромагнитном поле.....	13
Кемелбекова А., Шонгалова А., Бондарь Е., Отунчи Е. Технологии переработки отработанных литий-ионных аккумуляторов: экологическое воздействие, получаемые продукты и будущие направления развития.....	25
Қойлық Н.О., Баймбетова Г.А., Дәлелханқызы А., Қаптағай Г.Ә., Примкулова Ж.Е. Упрощение фермионной динамико-симметрической модели для идентичных частиц и её отображение в бозонное пространство.....	38
Масақ Б., Ағыл-Мұсапар О., Амангелдинова С., Курмангалиева В., Сноу М. Ограничения на юкавовские короткодействующие взаимодействия на основе нейтронной интерферометрии.....	60
Нурбаев Б.М., Дмитриева Е.А. Перовскиты на основе олова.....	70
Нуртазина А.С., Жубаев А.К. Исследование влияния высокодисперсной охры на кинетические характеристики эпоксидных композитов.....	92
Шоканов А.К., Хамраев Ш.И., Смихан Е.А. Мёссбауэровские исследования трассеров на основе летучей золы.....	103
Уалиханова У.А., Курбан Е.Е., Сыздыкова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б. Разрешение вырождения метрических и телепараллельных теорий гравитации посредством многоканальной гравитационно-волновой астрономии.....	119
Жадыранова А.А., Ержан Б. Динамика отскоковых режимов в модифицированной телепараллельной гравитации.....	134
Жусупова Н.К. Применение методов машинного обучения при анализе гравитационных волн и космологических моделей.....	151

ХИМИЯ

Аубакиров Е., Ахметова Ф., Ташмухамбетова Ж., Тоштай К., Амантайулы К. Конверсия полимерных отходов в синтетическое топливо путем модификации цеолита тайжугзен солями вольфрама.....	164
--	-----

Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Диканбаева А.К. Физико-химическое исследование продуктов взаимодействия серпентинитовых отходов и фосфорной кислоты.....	175
Башова А.К., Башов А.Б., Тулешова Э.Ж. Восстановление ионов меди цинком в присутствии ионов титана (IV) в растворах серной кислоты.....	188
Фазылов С.Д., Сыздыков А.К., Пустолайкина И.А., Кажмуратова А.Т., Тажибай А.М. Получение α -, β -, γ -олигосахаридных клатратных комплексов цитизина.....	200
Джалмаханбетова Р.И., Елшыбаева А.М., Жумагалиева Ж.Ж., Мукушева Г.К. Терпеноидные соединения <i>Artemisia terrae-albae</i> , произрастающего в Туркестанском регионе Казахстана.....	213
Капизов О.С., Муханов Д.К., Желдыбаева И.М., Сейсенов Е.Б., Акимбаева А.Б. Устойчивая переработка стружки ферросилиция металлургических заводов в высокопроизводительные кремний-углеродные аноды.....	228
Масалимова Б.К. Методы очистки сточных вод от тяжелых металлов: получение активированного угля из биомассы.....	244
Нуртай Ж., Орынбасар Р.О., Аймаганбетова З.К., Жантурина Н.Н. Моделирование кинетических параметров образцов винилэфирных смол с наполнителями из диатомита и диметилметилфосфоната.....	272
Сагынтаева А., Жаникулов Н., Сударев Е., Кайырбаева М., Жакипбаев Б. Исследование качества сырья для получения гипсо-цементно-пуццоланового композиционного материала.....	286
Сатаева С., Ермуханова С., Уразова А., Мендыгилиева А., Сабитов Б. Получение бензола методом фотокаталитического окисления толуола.....	302
Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Сарова Н.Б., Мухтар Т.Ж., Жалтырбаева Н.К. Эффективность фосфорсодержащих ингибиторов против коррозии стали.....	315
Шаймардан М., Ажиханова Ж., Абуталип М., Токтарбай О. Выделение и характеристика лигнина из биомассы <i>Phlomis Tuberosa</i> L. с помощью кислотной обработки.....	329
Есимсиитова З.Б., Сейсенова А., Орынгалиева С.Ж., Сануар А., Манап К.Р. Получение карбонизированных материалов из рисовой шелухи с использованием мобильной пиролизной установки для энергетических применений.....	338

**Жетенова М.С., Сулейменова М.Ш., Нуралы А.М., Мутушев А.Ж.,
Калимолдина Л.М.**

Разработка и исследование каротиноидсодержащих экстрактов, полученных
из растительного сырья.....353

Жортарова А.А., Kubicek V., Салькева Л.К., Ибраев М.К., Сейдахметова Р.Б.

Синтез и исследование биологической активности 1,3-бис(4-фенилтиазол-2-ил)-2,4-
бис(N,N-диэтиламино)-1,3-диазо-2,4-дифосфетидина.....353

Жумабек М., Тунгатарова С.А., Мурзин Д.Ю., Байжуманова Т.С.

Структурные и каталитические свойства Co–Al–Mg–Mn катализаторов, приготовленных
методом SCS, для сухого риформинга метана.....383

ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 2.
Number 358 (2026), 315–328

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.454>

UDC: 620.193
IRSTI: 31.41.11

©Sdikova G.Zh.¹, Dalabayeva N.S.^{2*}, Sarova N.B.³, Muhtar T.Zh.¹,
Zhaltyrbayeva N.K.³, 2026.

¹M. Utemisov West Kazakhstan University, Oral, Kazakhstan;

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

³Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan.

*Email: nazgulds81@gmail.com

EFFICIENCY OF PHOSPHORUS-CONTAINING INHIBITORS IN PROTECTING STEEL AGAINST CORROSION

Sdikova Guliya — Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer, M. Utemisov West Kazakhstan University, Oral, Kazakhstan,

E-mail: sdikova.guliya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7949-1521>;

Dalabayeva Nazgul — Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: nazgulds81@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6824-2100>;

Sarova Nurbanu — Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: sarova.n@kaznmu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7541-2224>;

Muhtar Tanagoz — Master, M. Utemisov West Kazakhstan University, Oral, Kazakhstan,

E-mail: tanamuhtar@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-0718-1205>;

Zhaltyrbayeva Nazym — Master, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: nazzhaltyrbayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-3453-8544>.

Abstract. This paper investigates the results of an analysis of the effect of phosphate inhibitors on reducing corrosion of austenitic stainless steel grade 12X18H10T. Phosphates, including sodium orthophosphate (Na_3PO_4) and its derivatives, are known to form protective films on the surface of metals that inhibit corrosion and protect the surface of steel from aggressive media. In particular, the mechanism of action of sodium orthophosphate is based on protecting the metal surface from corrosion in various environments due to the formation of a special protective film. To synthesize the phosphorous inhibitor, sodium dihydrogen phosphate was heated for various times at temperatures from 40 to 590 °C. To identify the composition of the synthesized phosphate inhibitor, IR spectra were taken using IRTracer-100, which revealed intense bands corresponding to fluctuations in the P-O and O-P-O bonds characteristic of the phosphate anion. To enhance the synergistic effect and stabilize the system, the

phosphate-based inhibitor was supplemented with zinc sulfate crystallhydrate ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), since zinc ions together with phosphate inhibitors form a dense, stable protective film on the metal surface, slowing corrosion. During the work of the steel plate was studied in different environments (tap water, sea water, ground water, NaCl , HCl , H_2SO_4 , HNO_3 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , NaHCO_3 , $\text{CaSO}_4 + \text{NaHCO}_3$, NaOH (solution $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$, $\text{NaHCO}_3 + \text{CaCl}_2$, MgSO_4) for 2, 4 and 8 days, after which it was carried out a comparative analysis of the experimental results. This article presents calculations of the corrosion rate and the protective effect of a pure phosphate inhibitor (NaPO_3)_x, as well as an inhibitor with the addition of $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ in a ratio of 1:1, obtained using the gravimetric method. To determine the nature of the inhibitor's adsorption on the metal surface, experimental data were described using Frumkin adsorption isotherms.

Keywords: corrosion, steel, inhibitor, protective film, rate of corrosion, aggressive environment

For citations: Sdikova G.Zh., Dalabayeva N.S., Sarova N.B., Muhtar T.Zh., Zhaltyrbayeva N.K. Efficiency of Phosphorus-Containing Inhibitors in Protecting Steel against Corrosion. *Academic Journal of Physical and Chemical Sciences*. 2026. No.2. Pp. 315–328. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.454>

©Сдикова Г.Ж.¹, Далабаева Н.С.^{2*}, Сарова Н.Б.³, Мұхтар Т.Ж.¹,
Жалтырбаева Н.К.³, 2026.

¹М.Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан;

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

³Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан.

*Email: nazgulds81@gmail.com

ФОСФОР ИНГИБИТОРЛАРДЫҢ БОЛАТТЫҢ ЖЕМІРІЛУІНЕ ҚАРСЫ ТИІМДІЛІГІ

Сдикова Гулия — химия ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, М.Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан,

E-mail: sdikova.guliya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7949-1521>;

Далабаева Назгуль — химия ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: nazgulds81@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6824-2100>;

Сарова Нұрбану — химия ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: sarova.n@kaznmu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7541-2224>;

Мұхтар Таназөз — магистр, М.Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан, E-mail: tanamuhtar@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-0718-1205>;

Жалтырбаева Назым — магистр, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: nazzhaltyrbayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-3453-8544>.

Аннотация. Мақалада 12Х18Н10Т маркалы аустенитті тот баспайтын болаттың жемірілуге ұшырауын бәсеңдету үшін фосфат қосылыстары негізінде

алынған ингибиторлардың әсері зерттелді. Фосфаттар, соның ішінде, натрий ортофосфаты (Na_3PO_4) және оның туындылары жемірілуді тежейтін қорғаныс қабықшаларын түзейді және болаттың бетін агрессивті ортадан қорғайды. Соның ішінде натрий ортофосфатының әсер ету механизмі металл бетінде арнайы қорғаныс қабықшасын түзу арқылы әр түрлі орталарда жемірілуден қорғауына негізделген. Фосфор ингибиторын синтездеу үшін натрий дигидрофосфатын әр түрлі уақыт аралығында 40-590°C температурада қыздырып алынды. Синтезделген фосфатты ингибитордың құрамын идентификациялау үшін IRTracer-100 арқылы инфрақызыл спектрлері түсіріліп, фосфат-анионға тән P—O және O—P—O байланыстарының тербелістеріне сәйкес интенсивті жолақтар байқалғанның көрсетті. Синергетикалық әсерді күшейту және жүйені тұрақтандыру мақсатында фосфатты ингибитордың құрамына мырыш сульфатының кристаллогидраты ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) енгізілді, өйткені мырыш иондары фосфорлы ингибиторлармен бірге металл бетінде қорғаушы тығыз тұрақты қабықша түзіп, жемірілуді баяулатады. Зерттеу барысында болат таспалары әр түрлі орталарда (кұбыр суы, теңіз суы, қабат суы, NaCl , HCl , H_2SO_4 , HNO_3 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , NaHCO_3 , $\text{CaSO}_4 + \text{NaHCO}_3$, NaOH , $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$, $\text{NaHCO}_3 + \text{CaCl}_2$, MgSO_4 ерітінділері) 2, 4 және 8 тәулік аралығында зерттеліп, тәжірибе нәтижелері салыстырмалы түрде талданды. Мақалада гравиметриялық әдіс негізінде таза фосфат ингибитордың (NaPO_3)_x және (NaPO_3)_x + $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1:1 ара қатынастағы ингибиторлардың жемірілу жылдамдығы мен қорғау эффектісінің есептеулері келтірілді. Ингибитордың металл бетіне адсорбциялану сипатын анықтау үшін тәжірибелік деректер Фрумкин адсорбциялық изотермаларымен сипатталды, молекулалар арасындағы өзара әсер коэффициентінің мәні оң болғандықтан, ингибитор молекулалары металл бетінде бір-біріне жақындап, тығыз қорғаныш қабат түзетінін және бұл жемірілуді баяулататынын көрсетті.

Түйін сөздер: болат; фосфатты ингибитор; коррозия; жемірілу; қорғаныс эффектісі, жемірілу жылдамдығы, агрессивті орта

©Сдикова Г.Ж.¹, Далабаева Н.С.^{2*}, Сарова Н.Б.³, Мухтар Т.Ж.¹,
Жалтырбаева Н.К.³, 2026.

¹Западно-Казахстанский университет имени М. Утемисова, Уральск, Казахстан;

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

³Казахский национальный педагогический университет имени Абая,
Алматы, Казахстан.

*Email: nazgulds81@gmail.com

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ ИНГИБИТОРОВ ПРОТИВ КОРРОЗИИ СТАЛИ

Сдикова Гулия — кандидат химических наук, старший преподаватель, Западно-Казахстанский университет имени М. Утемисова, Уральск, Казахстан,

E-mail: sdikova.guliya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7949-1521>;

Далабаева Назгуль — кандидат химических наук, старший преподаватель, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: nazgulds81@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6824-2100>;

Сарова Нұрбану — кандидат химических наук, старший преподаватель, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан,

E-mail: sarova.n@kaznmu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7541-2224>;

Мұхтар Танагөз — магистр, Западно-Казахстанский университет имени М. Утемисова, Уральск, Казахстан,

E-mail: tanamuhtar@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-0718-1205>;

Жалтырбаева Назым — магистр, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан,

E-mail: nazzhaltyrbayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-3453-8544>.

Аннотация. В статье представлены результаты исследования эффективности фосфорсодержащих ингибиторов коррозии аустенитной нержавеющей стали марки 12X18H10T. Известно, что фосфатные соединения, в частности ортофосфат натрия (Na_3PO_4) и его производные, способны формировать на поверхности металла защитные плёнки, препятствующие развитию коррозионных процессов в агрессивных средах. Для синтеза фосфатного ингибитора дигидрофосфат натрия подвергали термической обработке при температурах от 40 до 590 °С в течение различного времени. Состав синтезированных продуктов определяли методом ИК-спектроскопии на приборе IRTracer-100. Полученные спектры содержали интенсивные полосы поглощения, соответствующие колебаниям связей P–O и O–P–O, характерным для фосфат-анионов. Для усиления синергетического эффекта и повышения стабильности защитной системы фосфатный ингибитор был модифицирован кристаллогидратом сульфата цинка $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Ионы цинка совместно с фосфатами способствуют образованию плотной и устойчивой защитной плёнки на поверхности металла, что приводит к замедлению коррозионных процессов. Коррозионные испытания проводились в различных средах: водопроводной, морской и пластовой воде, а также в растворах NaCl, HCl, H_2SO_4 , HNO_3 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , NaHCO_3 , NaOH и смешанных солевых системах. Стальные образцы выдерживали в исследуемых средах в течение 2, 4 и 8 суток, после чего проводили сравнительный анализ полученных результатов. С помощью гравиметрического метода были рассчитаны скорость коррозии и защитный эффект для чистого фосфатного ингибитора $(\text{NaPO}_3)_x$, а также для композиции $(\text{NaPO}_3)_x$: $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в соотношении 1:1. Для установления механизма взаимодействия ингибитора с поверхностью металла экспериментальные данные были обработаны с использованием адсорбционных изотерм Фрумкина.

Ключевые слова: сталь; фосфатный ингибитор; коррозия; точечная коррозия; защитный эффект; скорость коррозии; агрессивная среда

Кіріспе. Қазіргі уақытта металл конструкцияларының, әсіресе болаттың коррозиясы – мұнай өнеркәсіп саласындағы елеулі техникалық және экономикалық мәселелердің бірі. Жабдықтардың коррозиясы қызмет ету мерзімін қысқартып қана қоймай, өндірістік және энергетикалық шығындарды арттырады. Сондықтан, болатты әр түрлі ортада, соның ішінде агрессивті ортада жемірілуден тиімді

қорғау жолдарын іздеу - өзекті мәселелердің бірі болып табылады (Denisa-Ioana (Gheorghe) et al., 2025; Al-Amieri and Waleed al-azzawi, 2023).

Коррозиядан қорғаудың кең таралған әдістерінің бірі - химиялық ингибиторларды қолдану. Коррозия ингибиторлары - металл мен қоршаған орта (ауа, ылғал, жауын-шашынның әсері және т.б.) арасындағы реакцияны бәсеңдететін немесе толық тоқтататын заттар. Соңғы жылдары бейорганикалық ингибиторларға, әсіресе фосфор қосылыстардың негізінде алынған ингибиторларға, ерекше назар аударылуда. Фосфатты ингибиторлар болат бетінде тұрақты, тығыз пассивациялық қабықша түзеді және сыртқы химиялық әсерлерден қорғайды (Ahmed et al., 2022). Сонымен қатар, өндірістің тұрақты дамуы мен экологиялық қауіпсіздік талаптарына сай коррозия ингибиторларының қоршаған ортаға уытты болмауын талап етеді. Осыған орай, фосфатты ингибиторлар экологиялық жағынан бейтарап және тиімді тежегіш ретінде танымал, себебі суда жақсы еритін, зиянсыз және табиғи ортада оңай ыдырайтын қосылыстар (Raimbekova et al., 2023). Зерттеудің негізгі мақсаты - фосфор негізіндегі бейорганикалық ингибиторлардың болаттың коррозиясын тежеу қабілетін гравиметриялық әдіс арқылы қорғау эффекті мен жемірілу жылдамдығын анықтау. Бұл зерттеулер мұнай саласындағы жабдықтар мен конструкцияларын қорғаудың экологиялық және экономикалық жағынан тиімді әдістерін жасауға жол ашады (Revon and Priyantha, 2025; Nouhaila et al., 2025).

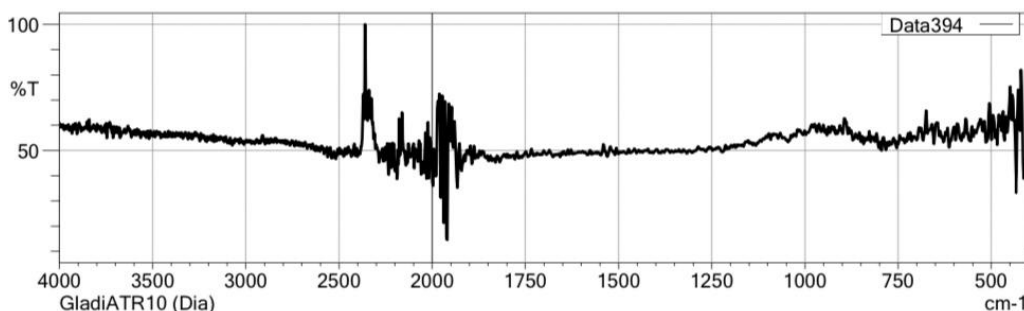
Коррозия ингибиторлар «жасыл химия» талаптарына сай орындалуы тиіс: табиғи жағдайда оңай және тез ыдырауы, тірі ағзаларда жинақталмауы және судағы уыттылығының жоқтығы немесе өте төмен болуы (Revon and Priyantha, 2025). Химиялық заттың табиғатта ыдырауы оның тұрақтылығын анықтайтын маңызды факторлардың бірі болып табылады (Elouhabi et al., 2025). Биодеградация бұл заттың микроорганизмдердің әсерінен көмірқышқыл газы мен суға айналу үдерісі. Заттың ыдырау қабілетіне оның құрылымы мен микроорганизмдердің белсенділігі әсер етеді. Биоаккумуляция - бұл химиялық заттардың тірі ағзаларға зиянды әсерінің бір бөлігі. Ол заттың судан, ауадан, тамақтан немесе топырақтан тірі ағзада жиналу қабілетін білдіреді (Nomozov et al., 2024).

Материалдар және негізгі әдістер. Зерттеу жұмысына 12X18H10T маркалы аустенитті тот баспайтын болаттан дайындалған таспа тәрізді үлгілер қолданылды. Аталған болаттың химиялық құрамына – 0,12%-ға дейін көміртек, шамамен 18% хром, 10% никель және 0,8% дейін титан бар, бұл оның коррозияға төзімділігін және құрылымдық тұрақтылығын қамтамасыз етеді. МемСТ 9.905-82 стандартына сәйкес жемірілу төзімділігінің бағалауы жүргізілді. Стандартқа сай сынаққа дейін болат таспалардың беті механикалық өңдеуден, яғни абразивті материалдар көмегімен тегістеліп, беттік ақаулар және оксидті қабықшалардан жойылып дайындалды. 60–80 °С температурада үлгілер сілтінің сулы ерітіндісінде майсыздандырылды және органикалық қоспалардан тазартылды (Safdar et al., 2024). Реакциялық қабілетін арттыру үшін болат таспалардың беті сынақ алдында белсендірілді, бұл ингибитордың қорғаныш әсерін объективті бағалау үшін мүмкіндік берді. Белсендірілгеннен кейін үлгілер 0,0001 г дәлдікпен

аналитикалық таразыда өлшеніп, штангенциркуль арқылы геометриялық параметрлері анықталып, олардың бет ауданы анықталып, коррозия жылдамдығы және ингибитордың қорғау эффектісі есептелді (Hui, 2025).

Нәтижелер. Натрий дигидрофосфатынан әр түрлі уақыт және температура интервалында (45 мин-40-44°C, 45 мин 90-114°C, 90 мин - 160°C, 180 мин - 240°C, 300 мин - 580-590°C) қыздырып фосфорлы ингибитор алынды (Mahmoud et al., 2024; Soumen et al., 2025).

Натрий дигидрофосфатының физика-химиялық өзгерістерін мақсатты түрде қамтамасыз ету үшін термиялық өңдеу процесі бірнеше сатылардан тұрды және әрбір температуралық саты таңдалды. Натрий дигидрофосфатының құрамындағы бос ылғалды жою және бастапқы құрылымын тұрақтандыру үшін 40-44 °C температурада қыздыру мүмкіндік берді. Дегидратация процесінің жүруі және кристаллогидраттардың ыдырауы 90-114 °C кезінде артты. Фосфат топтарының конденсациясы және төмен молекулалы конденсацияланған фосфаттардың түзілуі 160 °C-та 90 минут бойы жүргізілген қыздыру барысында байқалды. Полифосфатты құрылымдардың қалыптасуы 240 °C термиялық өңдеуді 180 минутқа дейін ұзарту қамтамасыз етті. Соңғы кезеңде 580-590 °C температурада 300 минут бойы термиялық қыздыру кезінде тұрақты, жоғары тежегіш қасиеттерге ие фосфорқұрамдас ингибитор алынды. 1-суретте синтезделген ингибитордың құрамы IRTracer-100 арқылы түсірілген (Shimadzu Corporation) инфрақызыл спектрлері көрсетілген.



Сурет 1. Фосфор ингибиторының ИҚ спектрлері.

1 суретте синтезделген фосфор ингибиторының ИҚ спектрінен 1200-900 cm^{-1} және 650-500 cm^{-1} аймақтарында фосфат-анионға тән O–P–O және P–O байланыстарының тербелістеріне сәйкес жолақтарының болуы фосфатты қабаттың түзілуін көрсетті. (H_2O) мен (-OH) топтардың бар екенін 3700-3000 cm^{-1} аймағындағы кең жолақтар мен 1640 cm^{-1} маңындағы сигнал адсорбцияланған дәлелдейді. Атмосфералық және фондық сигнал ретінде CO_2 қарастырылған және $\approx 2350 \text{ cm}^{-1}$ аймағындағы интенсивті жолақ жұтылуына жататыны анық. C–H алкил және C=O карбонил топтарына тән жолақтардың әлсіз болуы қорғаныш қабықшаның бейорганикалық табиғатын көрсетеді (Qahtan et al., 2025).

Зерттеу барысында болат таспалардың әртүрлі орталарда (қабат суы, құбыр

суы, теңіз суы, NaCl , HCl , H_2SO_4 , HNO_3 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , NaHCO_3 , CaSO_4 + NaHCO_3 , NaOH , Na_2CO_3 + Na_2SO_4 , NaHCO_3 + CaCl_2 , MgSO_4 ерітінділері) жемірілуге ұшырау ерекшеліктері зерттеліп, гравиметриялық әдіспен массалық өзгерістер анықталды. Болат таспалары 2, 4 және 8 тәулік аралығында зерттеліп, тәжірибе нәтижелері салыстырмалы түрде талданды.

Ингибиторлардың тұрмыстық су жүйелеріндегі тиімділігін бағалау үшін нақты пайдалану жағдайын модельдеп, құбыр және теңіз сулары; хлорид иондарына бай агрессивті ортада қорғаныш қабілетін зерттеу үшін қабат суының орталары зерттелді. NaCl 3% ерітіндісі күрделі иондық құрамда ингибиторлардың өндірістік тиімділігін анықтау үшін алынды, H_2SO_4 қышқыл ортада болаттың белсенді еруі мен ингибитор әсерін бағалау үшін қарастырылды; HCl ерітінділері аса агрессивті қышқыл ортада қорғаныш қабықша түзілуін зерттеу үшін зерттелді. Na_2SO_4 0,1 М ерітіндісі сульфатты ортада пассивация және жемірілу механизмдерін талдау үшін тандалды, Na_2CO_3 0,1 М ерітіндісі сілтілік ортада фосфор қосылыстарының тұрақтылығы мен пассивациясын бағалау үшін алынды, NaHCO_3 0,1 М ерітіндісі буферлік ортада ингибиторлардың pH-тұрақтылығын зерттеуге алынды. CaSO_4 + NaHCO_3 қасп түзілуімен қатар жүретін жемірілу үдерісінде ингибитор әсерін бағалау үшін, NaOH ерітіндісі жоғары сілтілік жағдайда фосфатты ингибиторлардың химиялық тұрақтылығын бағалау үшін, Na_2CO_3 + Na_2SO_4 көпкомпонентті электролиттік ортада ингибиторлардың тиімділігін зерттеуге, NaHCO_3 + CaCl_2 кермекті суда адсорбциялық қабат түзілуін бағалауға, MgSO_4 0,1 М ерітіндісі екі валентті катиондар қатысында қорғаныш қасиеттерін зерттеу үшін алынды (Ayesha et al., 2025).

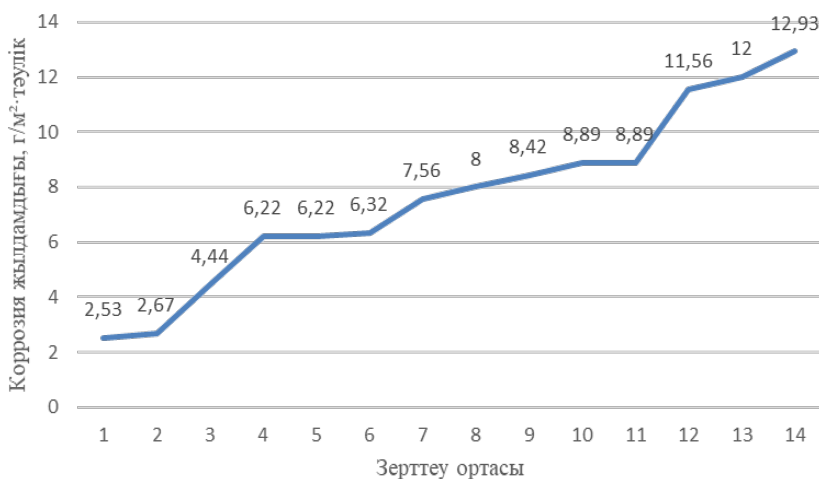
Зерттеу барысында болат таспалардың әртүрлі агрессивті орталарда жемірілуге ұшырау ерекшеліктері қарастырылып, гравиметриялық әдіспен оның салдарынан болатын массалық өзгерістер анықталды.

Синергетикалық әсерді күшейту және жүйені тұрақтандыру мақсатында фосфор құрамдас ингибиторға $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ енгізілді, себебі мырыш иондары фосфорлы ингибиторлармен бірге металл бетінде тығыз әрі тұрақты қорғау қабат түзіп, жемірілудің баяу жүруіне ықпал етеді. Сондай-ақ, анодтық ингибитор ретінде әсер етіп, мырыш иондары металл бетінің анодтық учаскелерін пассивтенуіне, соның нәтижесінде металдың еруі азаюына, ингибитордың тиімділігінің артуына, мырыш сульфаты ингибитор жүйесінің химиялық тұрақтылығын жақсартуына, фосфорлы қосылыстардың ыдырауын баяулатуына ықпал етеді. Қоспа ретінде кристаллогидрат түріндегі тұз алудың себебі оның жақсы еруін қамтамасыз етуі, ылғалдылықты реттеуге көмектесуі.

2 суретте $(\text{NaPO}_3)_x$ + $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1:1 ингибиторы қатысында болаттың 14 түрлі орталардағы жемірілу жылдамдығы салыстырылды (4 тәулік). Қабаттағы суда жемірілу жылдамдығы ең төмендегі 2,53 г/м²·тәулік мәнін құрайды, яғни бұл орта салыстырмалы түрде агрессивті емес екені көрсетті. Жемірілу жылдамдығы 2,67 г/м²·тәулік H_2SO_4 (0,1 М) ортасында байқалды, бұл қышқылды ортаның металлға айтарлықтай агрессивті әсерін білдіреді. Жемірілу жылдамдығы 4,44 г/м²·тәулікке 0,1 М HCl ерітіндісінде дейін өсіп, хлорид-иондардың әсерінен коррозияның

күшейетегінін көрсетті. Құбыр суы мен 0,1 М MgSO_4 ерітінділерінде жемірілу жылдамдығы 6,22-6,32 г/м²·тәулікке дейін жоғарылайды. 0,05 М NaHCO_3 + 0,05 М CaCl_2 ерітінділерінде жемірілу жылдамдығы 8,42 г/м²·тәулік көрсетті, яғни аралас тұзды-карбонатты ортада коррозия жоғары деңгейде сақталатына ықпал етеді. Жемірілу жылдамдығы 7,56 г/м²·тәулік 0,1 М Na_2SO_4 ерітіндісінде байқалды, бұл сульфат-иондардың әсерін көрсетеді. Жемірілу жылдамдықтарының күрт өсуі теңіз суында (8,0 г/м²·тәулік) және CaSO_4 + NaHCO_3 (0,05 М + 0,05 М) (11,56 г/м²·тәулік) орталарына сәйкес келеді, себебі жоғары минералдану мен хлоридтердің әсерінен жемірілу күшейеді.

0,1 М NaHCO_3 ретінде жемірілу жылдамдығы 6,22 г/м²·тәулікке дейін төмендеді, бұл бикарбонаттардың белгілі бір дәрежеде қорғаныш әсері бар екенін көрсетті. 0,05 М Na_2CO_3 + 0,05 М Na_2SO_4 ортасында жемірілу жылдамдығы қайта өсіп, 8,89 г/м²·тәулікке дейін жетті. Жемірілу жылдамдығының ең жоғары мәндері 0,1 М NaOH (12,0 г/м²·тәулік) және 0,1 М Na_2CO_3 (12,93 г/м²·тәулік) орталарында байқалды. Яғни, әр түрлі орталарда металдың жемірілуі жылдам жүретіні байқалады, себебі мұндай ортада электрөткізгіштік жоғары болып, электрохимиялық реакциялар қарқынды өтіп, хлорид иондары қорғаныш қабаттарын бұзады. Табиғи сулар мен бикарбонатты жүйелерде, керісінше, металл бетінде қорғаныш қабат түзіліп, жемірілу процесі баяу жүретіні анықталды.



Сурет 2. 4 тәулік ішіндегі $\text{NaPO}_3)_x$ + $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1:1 ингибиторы қатысында болаттың әртүрлі орталардағы жемірілу жылдамдығының мәндері.

Зерттеу барысында 12X18H10T маркалы болат таспаларының жемірілу жылдамдығы келесі факторларға тәуелді: зерттеу ортасының иондық құрамы, рН мәні және электролиттің минералдану деңгейі. 1:1 қатынастағы $(\text{NaPO}_3)_x$ + $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ фосфор ингибитор жүйесінің қатысында барлық орталарда жемірілу жылдамдығының төмендеуі байқалды және фосфорлы ингибитор мен мырыш иондары арасындағы айқын синергетикалық әсеріне тәуелді екені дәлелдеді. Алынған эксперименттік нәтижелерге сәйкес, жемірілу жылдамдығы

ортаның химиялық құрамына және иондық табиғатына тікелей байланысты. Болат таспаларының еруі анодтық реакциялардың жоғары қарқындылығы H_2SO_4 және HCl қышқылды орталарда байқалады. Бірақ фосфоркұрамдас ингибитор жүйесінің қатысында 4 және 8 тәулік ішінде жемірілу жылдамдығының едәуір төмендеуі металл бетінде тұрақты қорғаныш қабықшаның түзілетінін көрсетеді. Қорғаныш қабықша фосфат-иондардың болат бетімен химиялық байланысуы және мырыш иондарының гидроксо-фосфатты кешендер түзуі нәтижесінде қалыптасады. HCl , NaCl 3%, теңіз суы орталарында, яғни хлорид-иондары бар орталарда, жемірілу жылдамдығының жоғары болуы Cl^- иондарының пассив қабықшаның бұзылуына, локальды жемірілуді арттуымен байланысты, дегенмен ZnSO_4 қосу бұл әсерді белгілі бір дәрежеде тежейтіні анық.

NaCl 3%, теңіз суы, яғни хлоридті және жоғары минералданған орталарда жемірілу жылдамдығының айтарлықтай өсуі байқалды, себебі Cl^- иондарының метал бетінде локальды жемірілуді күшеюіне әкелетіні дәлелдейді. Сульфатты орталарда (MgSO_4 , Na_2SO_4) жемірілу орташа деңгейде, ал карбонат және бикарбонат жүйелерінде жемірілу жылдамдығы ортаның құрамына байланысты өзгеріп, кей жағдайларда қорғаныш қабықша түзілуіне қарамастан жоғары мәндерге жететіні байқалды.

Ең жоғары жемірілу жылдамдығы Na_2CO_3 , NaOH карбонатты және сілтілі орталарда байқалды, себебі мұндай орталарда пассив қабықшаның тұрақсыздығымен және иондық әсердің күшеюімен түсіндіріледі, яғни металдың жемірілуі ортаның агрессивтілігіне тіәуелді, сондықтан өндірістік және табиғи жүйелерде жемірілуден қорғау үшін ингибиторларды қолдану және ортаның құрамын ескеру өзекті мәселердің бірі болып табылады.

Зерттелген 14 орталарда (H_2SO_4 , HCl , MgSO_4 , NaCl , Na_2SO_4 , табиғи және теңіз сулары, карбонат-бикарбонат жүйелері, NaOH ерітінділері) фосфорлы ингибитордың эффективтілігі мен тиімділігі мырыш сульфаты кристаллогидратын қосу арқылы айтарлықтай артуына ықпал етті. Мырыш иондары фосфат ингибиторымен бірге, металл бетінде тығыз әрі тұрақты қорғаныш қабықша түзіліп, металдың еруін және жемірілу жылдамдығын баяулатады.

Қышқылды орталарда 1:1 қатынастағы $(\text{NaPO}_3)_x + \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ фосфоркұрамдас ингибитордың анодтық әсерін арттырады, агрессивті ортаның метал бетіне тікелей әсерін азайтады. Қабаттағы су, құбыр және теңіз суларында мырыш иондары хлорид және сульфат иондарының жемірушілік белсенділігі азаяды, қорғаныш қабаттың тұрақтылығына қамтамасыз етеді. Карбонат-бикарбонат және сілтілі жүйелерінде мырыш қосылыстары реттелген пассив қабықша түзулуіне ықпал етіп, жергілікті жемірілуді болдырмайды. MgSO_4 , Na_2SO_4 Сульфатты орталарда металдың жемірілуі орташа деңгейде сақталады, себебі бұл жағдайда SO_4^{2-} иондарының агрессивтілігі Cl^- иондарға қарағанда төмен болғанымен, ерітіндінің иондық күшінің жоғары болуының әсерінен электродтық реакцияларды жеделдетеді. Na_2CO_3 , NaHCO_3 , аралас жүйелерінде жемірілу жылдамдығының жоғары мәндері пассив қабықшаның тұрақсыздығымен және CO_3^{2-} тұздарының қайта кристалдануымен байланысты. NaOH сілтілі ортада

жемірілу жылдамдығының салыстырмалы түрде жоғары болуы болат таспаның бетінде түзілетін OH^- қабатының борпылдақ және механикалық тұрақсыз болуымен сипатталу мүмкін. Мырыш иондары бұл ортада да пассивтендіруші әсер етіп, металл таспаның бетін анодтық аймақтарын тежейтіні көрсетті.

Зерттеу барысында 14 ортаның ішінен қорғау эффектісі жоғары 7 түрлі ортадағы үлгілер алынды. 8 тәулік ішіндегі зерттеу нәтижелері жемірілу жылдамдығының ($\text{г/м}^2 \cdot \text{тәулік}$) өзгеруі 1 кестеде келтірілді.

Кесте 1. $(\text{NaPO}_3)_x + \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1:1 ингибиторы қатысында болаттың әртүрлі орталардағы жемірілу жылдамдығы мен қорғау эффектісі мәндері (8 тәулік).

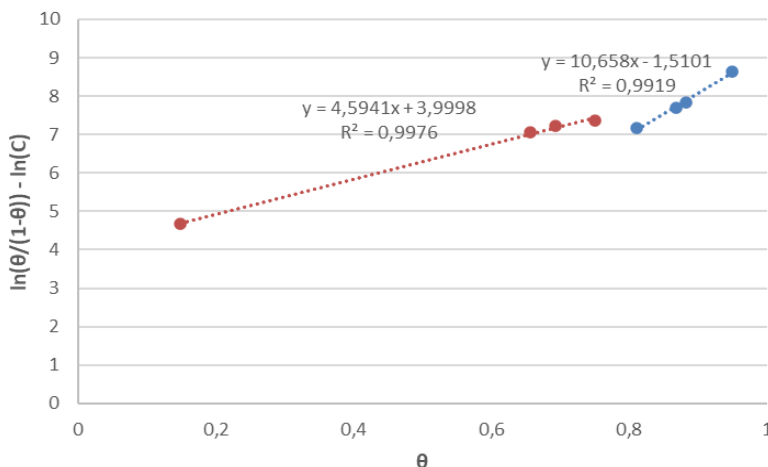
Үлгі №	Орта, С (М)	Жемірілу жылдамдығы, $\text{г/м}^2 \cdot \text{тәулік}$	Z, қорғау эффектісі, %
1	3% Теңіз суы	2,22	94,89
2	0,1 М NaHCO_3	3,78	89,17
3	0,5 М NaCl	3,16	87,83
6	0,1 М Na_2CO_3	2,44	81,00
4	0,1 М Na_2SO_4	4,21	79,52
5	0,05 М NaHCO_3 + 0,05 М CaCl_2	3,47	79,32
7	0,1 М H_2SO_4	5,00	75,00

Ең жоғары жемірілу жылдамдығы 0,1М H_2SO_4 ортада ($5,00 \text{ г/м}^2 \cdot \text{тәулік}$) байқалды, яғни бұл орта ең агрессивті болып табылады. Ең төмен жемірілу жылдамдығы теңіз суы ортасында анықталды, Na_2CO_3 0,1 М жемірілу жылдамдығы $2,44 \text{ г/м}^2 \cdot \text{тәулік}$ тең. Бұл осы ортаның салыстырмалы түрде аз агрессивті екенін көрсетеді. $\text{NaHCO}_3 + \text{CaCl}_2$ 0,05М+0,05М; Na_2SO_4 0,1М; орталарда көрсеткіш біршама тұрақтанып, $2,22$ - $4,21 \text{ г/м}^2 \cdot \text{тәулік}$ аралығында өзгереді. 0,1 М NaHCO_3 ортада жемірілу жылдамдығы $3,78 \text{ г/м}^2 \cdot \text{тәулікке}$ жетті, яғни, жемірілу жылдамдығы зерттеу ортасының құрамына айтарлықтай тәуелді: қышқылды, тұзды және минералданған орталарда жемірілу күшейеді, ал салыстырмалы бейтарап орталарда төмен мәндер байқалады.

2 тәулік ішінде болат таспалардың бетінде жемірілу айтарлықтай байқалмады, 4 тәуліктен кейін жемірілу өте баяу жүретіні анықталды, 8 тәулік өткен соң массаның елеулі азаюы байқалды, яғни жемірілу әсердің қарқындылығын көрсетілді (Nouhaila et al., 2023; Durdubaeva et al., 2022). Алғашқы 2 және 4 тәулікте болат таспаларының массасының өзгерісі өте аз (құбыр суы, теңіз суы, NaCl , HCl 0,1 М; HNO_3 0,1 М; 0,05М), кейбір жағдайларда, мысалы қабат суында массаның аздап артуы байқалды - бұл ылғал сіңуімен немесе өлшеу қатесімен түсіндірілуі мүмкін. 8 тәулік ішінде барлық болат үлгілерде массаның нақты төмендеуі байқалды, бұл кезеңде жемірілу ісері белсенді жүруіне ықпал етті. Металлдар үшін ең қауіпті, немесе агрессивті орта ретінде күшті қышқыл ерітінділері болып келеді, бұл орталарда металлдың массасы азайғаны, яғни металл жемірілуі болғаны көрсетті. 3% NaCl және құбыр суы ерітінділерінде болат таспалардың беті салыстырмалы түрде қорғаулы, масса көбінесе тұрақты немесе аздап артқаны байқалғаны анық. Жемірілу қарқынының уақытқа байланысты артуы - болатты ингибиторлар

көмегімен ұзақ мерзімді қорғау қажеттілігін дәлелдейді (Kaiynbayeva et al., 2022; Niyazbekova et al., 2024).

Фрумкин адсорбциялық изотермалары ингибитордың болат таспаның бетіне адсорбциялану сипатын анықтау үшін мүмкіндік береді. Фрумкин изотермалары $(\text{NaPO}_3)_x$ ингибиторы (қызыл жолақпен) және $(\text{NaPO}_3)_x + \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1:1 ингибиторы (көк жолақпен) үшін 3 суретте көрсетілген.



Сурет 3. $(\text{NaPO}_3)_x$ және $(\text{NaPO}_3)_x + \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1:1 ингибиторлары үшін Фрумкин изотермалары.

Фрумкин моделі 2 түрлі ингибитор (таза $(\text{NaPO}_3)_x$ және $(\text{NaPO}_3)_x + \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ қоспасымен 1:1 арақатынаста) молекулалары арасындағы тартылыс күштерінің арқасында адсорбция процесінің күрделі екенін көрсетеді. Молекулалар арасындағы өзара әсер коэффициентінің мәні оң болғандықтан, ингибитор молекулалары металл бетінде бір-біріне жақындап, тығыз қорғаныш қабат түзетінін және бұл жемірілуді баяулататының көрсетті. Бұл нәтиже ингибитор жүйесінің көпкомпонентті орталарда, яғни теңіз суы, NaCl , Na_2CO_3 , NaHCO_3 орталарында жоғары тиімділігін түсіндіреді. $(\text{NaPO}_3)_x$ ингибиторымен салыстырғанда $(\text{NaPO}_3)_x + \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1:1 ингибиторының қорғаныс эффектісінің мәндері жоғары екені анықталды.

$(\text{NaPO}_3)_x + \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ арасындағы синергетикалық эффекті бірнеше механизм арқылы жүзеге асу мүмкін, атап айтқанда адсорбциялық механизм бойынша фосфат-иондар болат бетіне хемосорбциялану кезінде активті орталықтар жабылып, анодтық пассивация кезінде мырыш иондары металл бетінің анодтық аймақтарын пассивтендіреді; темір-мырыш фосфаттары негізіндегі тығыз, аз еритін қорғаныш қабат түзілуі арқылы иондық агрессияны тежеу барысында хлорид және сульфат иондарының диффузиясының шектеуіне әкеледі. Осының нәтижесінде металдың еру жылдамдығы төмендеп, ингибитордың қорғау эффектісінің өсуіне ықпал етеді.

Осылайша, мырыш сульфатының кристаллогидраты фосфорқұрамдас

ингибитордың синергетикалық компоненті ретінде әр түрлі орталарда жемірілуге қарсы қорғау эффектісінің сенімділігі мен ұзақ мерзімділігін арттырады.

Алынған зерттеу нәтижелері фосфорқұрамдас ингибиторларды келешекте зерттеудің маңыздылығын және оларды қолдану металлбұйымдар мен жабдықтарды агрессивті ортада ұзақ мерзімді әрі тиімді қорғауға мүмкіндік беретінін айқындайды (Avdeev, 2025; Zhu et al., 2025). Әдістердің сан түрлілігі және оларды ғылыми негізде жүйелендіру биологиялық ыдырау, улылық және биоаккумуляция тәрізді экологиялық көрсеткіштерге негізделген зерттеулерді өндірістік тәжірибеге енгізуге бағыттайды. Бұған қоса техногендік әсерді азайтып, өндірістің экологиялық қауіпсіздігін арттыруға және экономикалық тиімділігіне мүмкіндік береді.

Осыған орай, «жасыл химия» қағидаттарын қолдану арқылы жаңартылған ингибиторларды әзірлеу экологиялық тұрғыдан қауіпсіз технологияларды қолдануда негізгі рөл атқарады. Бұл жағдайда тек ингибиторлардың тиімділігін арттыру ғана қоймай, олардың синтез жолдарын оңтайландыру, қалдықсыз технология қолдану, шикізатты тиімді пайдалану сияқты міндеттер де өзекті мәселелердің қатарына жатқызады (Farshad et al., 2023).

Қорытынды. $(\text{NaPO}_3)_x$ және $(\text{NaPO}_3)_x + \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ингибиторлар жүйелерінде жүргізілген адсорбциялық және кинетикалық талдаулар болатты әртүрлі агрессивті орталарда қорғауы адсорбция-пассивация механизмдері арқылы жүзеге асатынын дәлелдейді. Мырыш иондары фосфорлы қосылыстармен бірге болат таспалардың бетінде тығыз, химиялық тұрақты қабықша түзеді және иондардың диффузиясын шектеп, металдың еруін баяулатады. Бұл жүйе ұзақ мерзімді металл коррозиясындағы қорғанышты қамтамасыз етіп, өндірістік жағдайда қолдануға перспективалы екенін көрсетті.

Сонымен қатар, алынған нәтижелер 1:1 ара қатынастағы $(\text{NaPO}_3)_x + \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ингибитор жүйесінің болат таспалары қышқылды, тұзды, бейтарап және сілтілі орталарда тиімді қорғауын қамтамасыз ететіні анықталды. Жемірілу жылдамдығы уақыт өткен сайын төмендеуі және қорғау эффектісінің артуы түзілген қорғаныш қабықшаның біртіндеп нығайып, тұрақты күйге өтетінін көрсетті. Адсорбциялық изотермалар арқылы фосфор ингибитордың болат таспаның бетімен берік байланыс түзіп, синергетикалық әсерінен адсорбция-пассивация механизмдері екенін дәлелдеді. Сонымен қатар, экологиялық қауіпсіз, және экономикалық жағынан тиімді жемірілу ингибиторларын әзірлеу – заманауи ғылыми-техникалық прогрестің маңызды мәселелердің бірі. Яғни бұл зерттеу жұмысы «жасыл химия» қағидаларына дамыту бағытына негізделген. Фосфат құрамды ингибиторды жемірілуге қарсы пайдалану - қалдықсыз технология, экономикалық тиімділігі және қауіпсіз жергілікті шикізат қолдану арқылы жүзеге асыру мүмкін. Бұл бағытта жүргізілетін кешенді зерттеулер металл конструкциялар мен жабдықтардың қызмет ету мерзімін ұзартып, өндірістің экологиялық жауапкершілігін арттырады. Табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануға және тұрақты даму мақсаттарына қол жеткізуге айтарлықтай үлес қосады, себебі қоршаған ортаға зиянды қалдықсыз, табиғи ресурстарды ұтымды қолдану жолдарына негізделген.

References

- Ahmed A.A., Emad Y., Wan nor Roslam Wan I., Waleed K.A. (2022) A Review of Inorganic Corrosion Inhibitors: Types, Mechanisms, and Applications. *Tribology in Industry*. – No. 45(2). – P. 313. <https://doi.org/10.24874/ti.1456.03.23.06> (in Eng.).
- Al-Amiery, Waleed al-azzawi. A. (2023) Review of Inorganic Corrosion Inhibitors: Types, Mechanisms, and Applications. *Tribology in Industry*. – No. 45(1). – P. 313. <https://doi.org/10.24874/ti.1456.03.23.06> (in Eng.).
- Avdeev Y.G. (2025) Inhibitory protection of low carbon steel in a flow of phosphoric acid solution containing iron (III) phosphate. *Russian Journal of Electrochemistry*. – No. 61(1). – P. 105. <https://doi.org/10.7868/S3034618525010067> (in Eng.).
- Ayesha B.S., Sultan Nasar A., Umapathy M. J. (2025) Enhanced corrosion resistance of zinc phosphate coatings on mild steel through incorporation of nanocrystalline CeO_2 and CeO_2 -CuO nanocomposite. *RSC Adv*. – No. 15. – P. 20916-20934. <https://doi.org/10.1039/D5RA02800K> (in Eng.).
- Denisa-Ioana (Gheorghe) R, Ecaterina M and Sorin-M. A (2025) Recent Development of Corrosion Inhibitors: Types, Mechanisms, Electrochemical Behavior, Efficiency, and Environmental Impact. *Technologies*, – No. 13 (3). – P. 103. <https://doi.org/10.3390/technologies13030103> (in Eng.).
- Durdubaeva R., Beknazarov H., Asamatdinov A., Yusupova N. Study of steel corrosion inhibition with the use of secondary waste. (2022) *Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series*. – No. 1(138). <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2022-138-1-31-36> (in Eng.).
- Elouhabi N., Timoudan N., Bensalah J., Ait Hmid L., Bouabbadi A., Halioui C., Safi Z., Benzaouak A., Zarrouk A., Harchrass M. (2025) Evaluation of the corrosion inhibition performance of the phosphate derivative $\text{K}_2\text{SrP}_2\text{O}_7$ on carbon steel in 1 M hydrochloric acid solution. *Inorganic Chemistry Communications*. – No. 180. – P. 114961. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2025.114961> (in Eng.).
- Farshad B., Taghi Sh., Bahram R., Seyed A.H. (2023) Sustainable development of an effective anti-corrosion film over the St12-steel surface against seawater attacks using Ce(III) ions/tri-sodium phosphate anions. *Scientific Reports*. – No. 13. – P. 12169. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38540-9> (in Eng.).
- Hui L. (2025) Study on disodium hydrogen phosphate and 2, 4-dimethylpyridine as corrosion inhibitor for Q235 steel in 3.5 wt% NaCl solution. *Transactions of Materials Research*. – P. 100127. <https://doi.org/10.1016/j.tramat.2025.100127> (in Eng.).
- Kaiynbayeva R.A., Sultanbayeva G.Sh., Kozhabekova N.N., Shakirova A.K., Chernyakova R.M., Dzhusipbekov U.Zh. (2022) Study of the inhibitory properties of sodium tripolyphosphate in the “oimash salt- H_2O -NaTPP” system. *Chemical Journal of Kazakhstan*. – No. 4. – P. 1185.95. <https://doi.org/10.51580/2022-3/2710-1185.95> (in Eng.).
- Mahmoud A. Ahmed, Sherif A and Ashraf A.M. (2024) Current and emerging trends of inorganic, organic and eco-friendly corrosion inhibitors (Review Article). *RSC Adv*. – No. 14. – P. 31877-31920. <https://doi.org/10.1039/D4RA05662K> (in Eng.).
- Niyazbekova A.B., Shakirov T.A., Baytlesova L.I., Zhunusbekova N.M., Niyazbaeva A.I., Gubaidullina G.M. (2024) Effect of phosphate nature on the inhibitory capability of phosphate compositions. *International Journal of Biology and Chemistry*. – No. 17(1). <https://doi.org/10.26577/IJBCh2024v17i1-a16> (in Eng.).
- Nomozov A., Beknazarov K., Khodjamkulov S., Misirov Z., & Yuldashova S. (2024) Synthesis of Corrosion Inhibitors Based on (Thio)Urea, Orthophosphoric Acid and Formaldehyde and Their Inhibition Efficiency. *Baghdad Science Journal*. – P. 10590. <https://doi.org/10.21123/bsj.2024.10590> (in Eng.).
- Nouhaila F., Moussa O., Mariam B., Mohammed Ch., Mounia B.Z. (2025) Co-apatite phosphate compound: High-Performance corrosion inhibition in highly aggressive HCl solution (1.0 M and 5.0 M) and biological assessment. *Hybrid Advances*. – P. 100593. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2025.100593> (in Eng.).
- Qahtan A. Yousif, Mahmoud A. Bedair, Ahmed M. Abuelela, Azaj Ansari, Sumit Sahil Malhotra and Zainb Fadel. (2025) High-performance corrosion inhibitors for carbon steel in hydrochloric acid: electrochemical and DFT studies. *RSC Adv*. – No. 15. – P. 28666-28688. 2011. <https://doi.org/10.1039/2046-2069/2011> (in Eng.).
- Raimbekova A.S., Kapralova V.I., Dalbanbai A., Kubekova Sh.N., Popova A.K. (2023) Effect of

various phosphate inhibitors on corrosion of low carbon steel in 3% sodium chloride solution. Engineering Journal of Satbayev University. – No. 145(4). <https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i4.04> (in Eng.).

Revon N., Priyantha N. (2025) Interference of solution constituents on corrosion inhibition of phosphate species on Grade 202 stainless steel. Discover Chemistry. – No. 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44371-025-00157-4> (in Eng.).

Safdar H., Ambar I., Sujhla H., Purnawan P.P., Muhammad A. (2024) Identifying alkaline phosphatase inhibitory potential of cyclooxygenase-2 inhibitors: Insights from molecular docking, MD simulations, molecular expression analysis in MCF-7 breast cancer cell line and in vitro investigations. International Journal of Biological Macromolecules. – No. 277. – P. 132721. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132721> (in Eng.).

Soumen M., Jitendra K.S., Dong-E.L., Taejoon P. (2020) Effect of Phosphate-Based Inhibitor on Corrosion Kinetics and Mechanism for Formation of Passive Film onto the Steel Rebar in Chloride-Containing Pore Solution. Materials (Basel). – No. 13(16). – P. 3642. <https://doi.org/10.3390/ma13163642> (in Eng.).

Zhu P., Tian-Yang Zh., Jian Ai., Ren-Jie P., Dai-Xu Zh., Bin Xu. (2025) Effects of a composite phosphate corrosion inhibitor on corrosion behavior and water quality stability in drinking water distribution systems. Water Cycle. 05.004. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2025.05.004> (in Eng.).

**Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the
«Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty)**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the originality detection service Cross Check <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Requirements for articles design for publication in the journal are available on the websites:

**www.nauka-nanrk.kz
ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)
<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>**

Managing Editor: T. Apendiev
Editors: D.S. Alenov, A. Shormakova
Computer layout: G.D. Zhadyranova

Signed for print: June 22, 2026
Format: 70×90 1/16. 24.5 printed sheets. Order No. 2.

*«Central Asian Academic Research Center» LLP
Almaty, Shevchenko Street, 28*