

ISSN: 1991-346X (Print)
ISSN: 2518-1726 (Online)

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

№1
2026

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

2026 • 1



CENTRAL ASIAN ACADEMIC
RESEARCH CENTER



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 Oil refining and Petrochemistry Research Institute (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

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

ABILMAGZHANOV Arlan Zainutallaevich, PhD in Chemistry, General Director 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>

EDITORIAL BOARD:

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 Tlekkabul Sabitovich, 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>

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 Жұрынулы, 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/author/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЛАРЫ:

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

ӘБИЛМАҒЖАНОВ Арлан Зайнуталлайұлы, химия ғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы «Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ Бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мынжасарұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» ғылыми-өндірістік орталығы» АҚ директоры (Қарағанды, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/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/author/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/author/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

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

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

САНГ-СУ Квак, PhD (биохимия, агрохимия), профессор, Корей Биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/author/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/author/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

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

БӨШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, PhD теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/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/author/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/author/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ЖҮСПІНОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/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/author/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/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/author/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

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

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 Научно-исследовательского института нефтепереработки и нефтехимии (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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>

АБИЛЬМАГЖАНОВ Арлан Зайнуталлаевич, кандидат химических наук, Генеральный директор 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>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

АДЕКЕНОВ Сергазы 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 Россини 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) (Дэчон, 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 Агазыевич, 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 Мухамбетали, 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 имени 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 Жабағевич, 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 Мелеу 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>

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>

CONTENTS

PHYSICS

Aimaganbetova Z.K., Kulshymbayev Y.A., Zhanturina N.N., Beketova G.K. First-principles calculation of the electronic properties of the Double Halide Perovskite $\text{Cs}_2\text{Ag}_{0.2}\text{Na}_{0.4}\text{In}_{0.6}\text{Ti}_{0.4}\text{Cl}_6$ based on the quantum ESPRESSO software.....	14
Amangeldinova S., Zhuniskhan S., Kalzhigitov N., Kurmangaliyeva V. Study of the cluster structure of ^5He and ^5Li mirror nuclei in two-cluster approximation.....	35
Chokin K., Otunchi Ye., Kozhahmetova A., Kasenova A., Shongalova A. Development and testing of a laboratory pyrometallurgical installation for recycling lithium-ion batteries.....	46
Issayeva A., Beisebayeva A., Madybekova G., Shynazbekova Sh., Issa A. Comparative analysis of physico-chemical characteristics of drinking, spring and natural water in the South Kazakhstan.....	65
Kim V.Yu., Aimuratov Y.K. Search for transient cosmic events by scanning the sky with wide-field telescopes.....	78
Koshtybayev T.B., Tatenov A.M., Aliyeva M.E., Tugelbaeva G.T., Zhanaliyeva G.Zh. Study of the electromagnetic field based on thermodynamics principles.....	89
Mukamedenkyzy V., Akberdiyev B. Numerical investigation of the effect of inclination angle on the stability of mechanical equilibrium in Ar–N ₂ binary gas mixtures.....	105
Myasnikova L.N., Uzakbaeva S.S., Shanina Z.K., Bekeshev A.Z. Kinetic properties of high-density polyethylene filled with chromium spinel powder.....	119
Nurbayev B.M., Dmitriyeva E.A., Kemelbekova A.E. The role of low-dimensional layered structures in enhancing the stability of tin-based perovskite materials.....	136
Sattinova Z., Ermakhanova F., Assilbekov B., Taimuratova L. Influence of various cooling conditions and heat transfer coefficients on solidification during the formation of beryllium ceramic products.....	149
Shestakova L.I., Serebryanskiy A.V., Spassyyuk R.R., Omarov Ch.T. Search for gas of comet-meteor origin in the inner Solar System: caii ion emission.....	165
Ualikhanova U., Tursynkazy F., Syzdykova A.M., Altayeva G.S., Altaibayeva A.B. Studying the amplitude of $f(T)$ gravitational waves using Bessel functions.....	179

Zhexenbayeva G.A., Nasirova D.M., Aimanova G.K., Shomshekova S.A. Photometric study of the symbiotic object V725 Tau.....	194
Zhusupova N.K., Zhadyranova A.A. Bounce cosmology in $f(T, \mathcal{T})$ gravity based on energy condition analysis.....	205
Ziyatbekova G., Abdimanapova P., Sagyntay O., Nurym A., Ilinov R. Using artificial intelligence to predict diseases based on medical data.....	225

CHEMISTRY

Almassov N.Zh., Zhumagaliyeva A.N., Duisenbekov S.E., Zhakiyev N.K. Design and optimization of hybrid renewable energy systems for hydrogen production in Kazakhstan.....	236
Amangeldi B., Zhanikulov N., Taimasov B., Aitureev M.M., Dauletiyarov M. Calculation of the Raw material composition for obtaining white Portland cement clinker.....	251
Baeshov A., Tashenov E.A., Atykhanova S.B., Koshkarbayeva Sh.T. Preparation of cadmium sulfide by electrochemical method using a composite sulfur-graphite electrode.....	267
Baisalova G.Zh., Azhikhanova Zh., Taltenov A.A., Kuzhatova P. Determination of the total phenolic content in perennial herbaceous plants of the flora of Kazakhstan.....	277
Darmenbayeva A.S., Rajasekharan R., Zhussipnazarova G.M., Mukazhanova Zh.B., Begenova B.E. Composites based on chitosan and cellulose: synthesis, properties, and application prospects.....	287
Erkasov R.Sh., Zhamkenova A.S., Sergazina S.M., Nurmukhanbetova N.N., Kassenova N.B. Halide-dependent modulation of hydrogen bonding in Mn(II) complexes with protonated acetamide: a QAIM, NCI, and energy decomposition study.....	304
Kalimoldina L.M., Shaikhova Zh.E., Kaliyeva B.K., Bubish Sh., Askarova Sh.K. The effect of silver nanoparticles on the germination of bean, lemon, tangerine and avocado seeds.....	320
Kurtebayeva A.A., Alvarez-Torrellas S., Gomes H.T., Orynbayev S.A., Kalmakhanova M.S. Activated-carbon-enhanced polymeric membranes for efficient elimination of emerging contaminants.....	334

Massenova A.T., Zhumakanova A.S., Torlopov I.I., Rakhmetova K.S., Abilmagzhanov A.Z. Optimization of the hierarchical zeolite ZSM-5 synthesis process by steam-assisted alkaline modification.....	350
Mutushev A.Zh., Nuraly A.M., Sanat A.S., Shaukharova M.A., Yessimsiitova Z.B. The effect of light-converting films on the accumulation of bioactive compounds and the quality of fruits.....	366
Nefedov A.N., Taikenova A.T. Current state of organic corrosion inhibitor application in oil refining.....	379
Omarov B.T., Altybayev Zh.M., Serikbayeva B.S. Production of biohumus by vermicomposting of organic wastes and study of its agroecological effectiveness.....	399
Rakhman D.M., Kappasuly A., Makhayeva D.N., Kazybayeva D.S., Irmukhametova G.S. Development and investigation of mucoadhesive hydrogels based on gellan–cysteine complexes.....	414
Sabyrzhanova A.E., Bolatkyzy N., Berganaeva G.E., Dyusebaeva M.A. Study of amino acids and fatty acids in the aerial part of <i>Plantago major</i>	428
Satayeva S., Akhmetova F., Urazova A., Aituganova S., Yerniyazova K. The influence of PEPA concentration on the physical, mechanical, and operational properties of ED-20 epoxy adhesives.....	439
Zamanbek A.Zh., Koshkarbayeva Sh.T., Satayev M.S. Methods of Obtaining Silver Nanoparticles and Antibacterial Properties.....	450
Zhortarova A.A., Salkeyeva L.K., Minayeva Ye.V., Ibrayev M.K., Fazylov S.D. New possibilities for the synthesis and phosphorylation of phosphonoacetic acid ester.....	462

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

Аймағанбетова З.К., Құлшымбаев Е.А., Жантурина Н.Н., Бекетова Г.К. Quantum Espresso бағдарламасы негізінде Cs ₂ Ag _{0.2} Na _{0.4} In _{0.6} Ti _{0.4} Cl ₆ кос галогенді перовскиттің электрондық қасиеттерін бірінші принциптік есептеу.....	14
Амангелдинова С., Жүнісхан С., Калжигитов Н., Курманғалиева В. Екі кластерлік жуықтауда 5He және 5Li айналық ядроларының кластерлік құрылымын зерттеу.....	35
Чокин К., Отунчи Е., Кожаметова А., Касенова А., Шонғалова А. Литий-ионды аккумуляторларды қайта өңдеуге арналған зертханалық пирометаллургиялық қондырғыны әзірлеу және сынау.....	46
Исаева А.Б., Бейсебаева А.С., Мадыбекова Г.М., Шиназбекова Ш.С., Иса А.Б. Сравнительный анализ физико-химических характеристик питьевой, родниковой и природной воды юга Казахстана.....	65
Ким В.Ю., Аймуратов Е.К. Кең бұрышты телескоптармен аспанды сканерлеу арқылы өтпелі ғарыштық оқиғаларды іздеу.....	78
Коштыбаев Т.Б., Татенов А.М., Алиева М.Е., Тугелбаева Г.Т., Жаналиева Г.Ж. Электромагниттік өрісті термодинамикалық бастамалар тұрғысында зерттеу.....	89
Мукамеденқызы В., Ақбердиев Б. Ar–N ₂ бинарлы газ қоспаларындағы механикалық тепе-теңдік тұрақтылығына қиғаш бұрыштың әсерін сандық зерттеу.....	105
Мясникова Л.Н., Узакбаева С.С., Шанина З.К., Бекешев А.З. Хром-шпинельді ұнтақ қосылған жоғары тығыздықты полиэтиленнің кинетикалық қасиеттері.....	119
Нұрбаев Б.М., Дмитриева Е.А., Кемелбекова А.Е. Қалайы негізіндегі перовскитті материалдардың тұрақтылығын арттырудағы төменөлшемді қабатты құрылымдардың рөлі.....	136
Саттинова З., Ермаханова Ф., Асылбеков Б., Таймуратова Л. Бериллий керамикалық бұйымдарын қалыптастыру кезінде әр түрлі салқындату жағдайлары мен жылу беру коэффициенттерінің қатаюға әсері.....	149
Шестакова Л.И., Серебрянский А.В., Спасюк Р.Р., Омаров Ш.Т. Күн жүйесінің ішкі аймағындағы комета-метеорлық тектегі газды іздеу: CaII иондарының жарқырауы.....	165

Уалиханова У.А., Тұрсынқазы Ф., Сыздықова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б.
Бессель функцияларын пайдаланып $f(T)$ гравитациялық толқындардың
амплитудасын зерттеу.....179

Жексенбаева Г.А., Насирова Д.М., Айманова Г.К., Шомшекова С.А
V725 Тау симбиотикалық объектiсiн фотометрлiк зерттеу.....194

Жусупова Н.К., Жадыранова А.А.
Энергия шарттарын талдауға негiзделген $f(T, T)$ серпiлiс космологиясы.....205

Зиятбекова Г.З., Абдиманапова П.Б., Сағынтай О.А., Нұрым А.А., Ильинов Р.А.
Жасанды интеллект көмегiмен медициналық деректер бойынша
ауруларды болжау.....225

ХИМИЯ

Алмассов Н.Ж., Жумагалиева А.Н., Дүйсенбеков С.Е., Жакиев Н.К.
Қазақстанда сутегi өндiруге арналған гибрирдiк жаңартылатын энергия жүйелерiн
жобалау және оңтайландыру.....236

Амангелдi Б., Жаникулов Н., Таймасов Б., Айтуреев М., Даулетияров М.
Ақ портландцемент клинкерiн алу үшiн шикiзат шихта құрамын есептеу.....251

Баешов А., Ташенов Е.А., Атыханова С.Б., Кошкарбаева Ш.Т.
Композициялы күкiрт-графит электродын қолдану арқылы кадмий
сульфидiн электрохимиялық әдiспен алу.....267

Байсалова Г.Ж., Ажиханова Ж., Талтенов А.А., Құжатова П.
Қазақстан флорасындағы көпжылдық шөптесiн өсiмдiктердiң фенолдық
қосылыстарының жиынтық мөлшерiн анықтау.....277

**Дарменбаева А.С., Rajasekharan R., Жусипназарова Г.М., Мукажанова Ж.Б.,
Бегенова Б.Е.**
Хитозан және целлюлоза негiзiндегi композиттер: синтез, қасиеттерi және қолдану
перспективалары.....287

**Еркасов Р.Ш., Жамкенова А.С., Сергазина С.М., Нурмуханбетова Н.Н.,
Касенова Н.Б.**
Mn (II) кешендерiндегi сутектiк байланыстардың энергиясы мен табиғатына
галогеннiң әсерi: QTAIM, NCI және энергия декомпозициясы.....304

Калимолдина Л.М., Шаихова Ж.Е., Калиева Б.К., Бубиш Ш., Аскарова Ш.К.
Күмiс нанобөлшектерiнiң бұршақ, лимон, мандарин, авокадо тұқымдарының
өнуiне әсерi.....320

Қуртебаева А.А., Álvarez-Torrellas S., Gomes Н.Т., Орынбаев С.Ә., Калмаханова М.С. Алаңдаушылық тудыратын ластаушы заттарды тиімді жою үшін белсендірілген көмір полимерлі мембраналар.....	334
Масенова А.Т., Жұмақанова А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Абильмагжанов А.З. ZSM-5 иерархиялық цеолитін бумен сілтілі модификациялау арқылы алу процесін онтайландыру.....	350
Мутушев А.Ж., Нұралы Ә.М., Санат А.С., Шаукарова М.А., Есимситова З.Б. Жарық түрлендіретін пленкалардың биоактивті қосылыстардың жинақталуына және жеміс сапасына әсері.....	366
Нефедов А.Н., Тайекенова А.Т. Мұнай өңдеу өнеркәсібінде органикалық коррозия ингибиторларын қолданудың қазіргі жағдайы.....	379
Омаров Б.Т., Алтыбаев Ж.М., Серикбаева Б.С. Органикалық қалдықтарды вермикомпостинг арқылы биогумус өндіру және оның агроэкологиялық тиімділігін зерттеу.....	399
Рахман Д.М., Қаппасұлы Ә., Махаева Д.Н., Қазыбаева Д.С., Ирмухаметова Ғ.С. Геллан–цистеин кешендері негізінде мукоадгезиялық гидрогельдерді әзірлеу және зерттеу.....	414
Сабыржанова А.Е., Болатқызы Н., Берганаева Г.Е., Дюсебаева М.А. Plantago Major жер үсті бөлігінің құрамындағы амин қышқылдары мен май қышқылдарын зерттеу.....	428
Сатаева С., Ахметова Ф., Уразова А., Айтуганова С., Ерниязова К. ЭД-20 эпоксидті желімдерінің физика-механикалық және эксплуатациялық қасиеттеріне ПЭПА концентрациясының ықпалы.....	439
Заманбек А.Ж., Кошкарбаева Ш.Т., Сатаев М.С. Күміс нанобөлшектерінің алыну әдістері мен антибактериалдық қасиеттері.....	450
Жоргарова А.А., Салькева Л.К., Минаева Е.В., Ибраев М.К., Фазылов С.Д. Фосфоносірке қышқылының эфирін синтездеу мен фосфорландырудың жаңа мүмкіндіктері.....	462

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Аймаганбетова З.К., Кулшымбаев Е.А., Жантурина Н.Н., Бекетова Г.К. Расчет по первому принципу электронных свойств двойного галогенидного перовскита Cs ₂ Ag _{0.2} Na _{0.4} In _{0.6} Ti _{0.4} Cl ₆ на основе программы Quantum Espresso.....	14
Амангелдинова С., Жүнісхан С., Калжигитов Н., Курмангалиева В. Исследование кластерной структуры зеркальных ядер ⁵ He и ⁵ Li в двухкластерном приближении.....	35
Чокин К., Отунчи Е., Кожрахметова А., Касенова А., Шонгалова А. Разработка и испытания лабораторной пирометаллургической установки для переработки литий-ионных аккумуляторов.....	46
Исаева А.Б., Бейсебаева А.С., Мадыбекова Г.М., Шиназбекова Ш.С., Иса А.Б. Сравнительный анализ физико-химических характеристик питьевой, родниковой и природной воды юга Казахстана.....	65
Ким В.Ю., Аймуратов Е.К. Поиск транзиентных космических событий методом сканирования неба широкоугольными телескопами.....	78
Коштыбаев Т.Б., Татенов А.М., Алиева М.Е., Тугелбаева Г.Т., Жаналиева Г.Ж. Исследование электромагнитного поля на основе термодинамических принципов.....	89
Мукамеденкызы В., Акбердиев Б. Численное исследование влияния угла наклона на устойчивость механического равновесия в бинарной газовой смеси Ar–N ₂	105
Мясникова Л.Н., Узакбаева С.С., Шанина З.К., Бекешев А.З. Кинетические свойства высокоплотного полиэтилена с добавлением хром-шпинельного порошка.....	119
Нурбаев Б.М., Дмитриева Е.А., Кемелбекова А.Е. Роль низкоразмерных слоистых структур в повышении стабильности перовскитных материалов на основе олова.....	136
Саттинова З., Ермаханова Ф., Асылбеков Б., Таймуратова Л. Влияние различных условий охлаждения и коэффициентов теплопередачи на затвердевание при формировании бериллиевых керамических изделий.....	149

Шестакова Л.И., Серебрянский А.В., Спасюк Р.Р., Омаров Ш.Т. Поиск газа кометно-метеорного происхождения во внутренней области Солнечной Системы: Свечение ионов СаII.....	165
Уалиханова У.А., Турсынказы Ф., Сыздыкова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б. Изучение амплитуды $f(T)$ гравитационных волн с использованием функций Бесселя.....	179
Жексенбаева Г.А., Насирова Д.М., Айманова Г.К., Шомшекowa С.А. Фотометрическое исследование симбиотического объекта V725 Tau.....	194
Жусупова Н.К., Жадыранова А.А. Космология отскока в $f(T, \mathcal{J})$ гравитации на основе анализа энергетических условий.....	205
Зиятбекова Г.З., Абдиманапова П.Б., Сағынтай О.А., Нұрым А.А., Ильинов Р.А. Использование искусственного интеллекта для прогнозирования заболеваний на основе медицинских данных.....	225

ХИМИЯ

Алмассов Н.Ж., Жумагалиева А.Н., Дуйсенбеков С.Е., Жакиев Н.К. Проектирование и оптимизация гибридных возобновляемых источников энергии для производства водорода в Казахстане.....	236
Амангелді Б., Жаникулов Н., Таймасов Б., Айтуреев М., Даулетияров М. Расчёт состава сырьевой шихты для получения белого порландцементного клинкера.....	251
Башов А., Ташенов Е.А., Атыханова С.Б., Кошкарбаева Ш.Т. Получение сульфида кадмия электрохимическим методом с использованием композитного сера-графитового электрода.....	267
Байсалова Г.Ж., Ажиханова Ж., Талтенов А.А., Кужатова П. Определение суммы фенольных соединений в многолетних травянистых растениях флоры Казахстана.....	277
Дарменбаева А.С., Rajasekharan R., Жусиппазарова Г.М., Мукажанова Ж.Б., Бегенова Б.Е. Композиты на основе хитозана и целлюлозы: синтез, свойства и перспективы применения.....	287
Еркасов Р.Ш., Жамкенова А.С., Сергазина С.М., Нурмуханбетова Н.Н., Касенова Н.Б. Влияние галогена на энергетику и природу водородных связей в Mn(II): QTAIM, NCI и энергодекомпозиция.....	304

Калимолдина Л.М., Шаихова Ж.Е., Калиева Б.К., Бубиш Ш., Аскарлова Ш.К. Влияние наночастиц серебра на прорастание семян фасоли, лимона, мандарина, авокадо.....	320
Куртебаева А.А., Álvarez-Torrellas S., Gomes Н.Т., Орынбаев С.А., Калмаханова М.С. Полимерные мембраны с активированным углем для эффективного удаления загрязняющих веществ вызывающих обеспокоенность.....	334
Масенова А.Т., Жұмақанова А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Абильмагжанов А.З. Оптимизация процесса получения иерархического цеолита ZSM-5 паровой щелочной модификацией.....	350
Мутушев А.Ж., Нуралы А.М., Санат А.С., Шаукарова М.А., Есимсиитова З.Б. Влияние светопреобразующих плёнок на накопление биоактивных соединений и качество плодов.....	366
Нефедов А.Н., Тайекенова А.Т. Современное состояние применения органических ингибиторов коррозии в нефтепереработке.....	379
Омаров Б.Т., Алтыбаев Ж.М., Серикбаева Б.С. Получение биогумуса путем вермикомпостирования органических отходов и исследование его агроэкологической эффективности.....	399
Рахман Д.М., Қаппасұлы Ә., Махаева Д.Н., Казыбаева Д.С., Ирмухаметова Г.С. Разработка и исследование мукоадгезивных гидрогелей на основе комплексов геллан–цистеин.....	414
Сабыржанова А.Е., Болаткызы Н., Берганаева Г.Е., Дюсебаева М.А. Исследование аминокислот и жирных кислот в составе надземной части <i>Plantago Major</i>	428
Сатаева С., Ахметова Ф., Уразова А., Айтуганова С., Ерниязова К. Влияние концентрации ПЭПА на физические, механические и эксплуатационные свойства эпоксидных клеев ЭД-20.....	439
Заманбек А.Ж., Кошкарбаева Ш.Т., Сатаев М.С. Методы получения наночастиц серебра и антибактериальные свойства.....	450
Жоргарова А.А., Салькева Л.К., Минаева Е.В., Ибраев М.К., Фазылов С.Д. Новые возможности синтеза и фосфорилирования фосфонуксусного эфира.....	462

ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 1.
Number 357 (2026), 379–398

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.427>

UDC: 620.197.3

IRSTI: 81.33.29

©Nefedov A.N.¹, Taikenova A.T.^{1,2}, 2026.

¹JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”,
Almaty, Kazakhstan;

²Satbayev University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: a.taikenova@gmail.com

CURRENT STATE OF ORGANIC CORROSION INHIBITOR APPLICATION IN OIL REFINING

Alexander Nefedov — Candidate of Chemical Sciences (PhD), Scientific Consultant, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: a.nefedov@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0002-9070-0398>;

Taikenova Arailym — Master’s student, Senior Engineer, Satbayev University; JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: a.taikenova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8354-1704>.

Abstract. Corrosion of process equipment in oil refineries remains a major source of operational losses and reliability risks because of multiphase flow regimes, variability of crude and process media, and the presence of aggressive species that create strongly localized corrosive environments. The most vulnerable areas typically include atmospheric (and vacuum) distillation column overhead systems and associated condensation/cooling circuits, hot crude feed piping, and heat-exchange equipment, where chloride/HCl-related (HCl/Cl^-), sulfide ($\text{H}_2\text{S}/\text{HS}^-$), naphthenic acid, and erosion–corrosion mechanisms may act simultaneously. This paper provides an analytical review of recent peer-reviewed publications, industry standards, and practical guidelines on the application of organic corrosion inhibitors in oil refining, with emphasis on reproducible performance under field conditions. The main inhibition mechanisms (adsorption/film formation and electrochemical effects) and a functional classification of treatment programs are discussed, including film-forming inhibitors, neutralizing amines, and combined strategies. Key factors controlling realizability of protection at the level of a specific process node are systematized: transport of the inhibitor to the corrosion-active aqueous film/condensate, phase partitioning in water–hydrocarbon systems, stability of the protective film under high shear stress, and compatibility with process chemicals as well as the propensity for salt deposition. The review shows that inhibitor performance depends not only on reagent chemistry and “nominal” concentration, but also on correct

injection location, adequate mixing, and uniform distribution across circuit branches. Comprehensive verification is therefore required using corrosion monitoring tools: coupons, electrochemical methods, condensate pH and ionic composition (Cl^- , NH_4^+), and deposit characterization. It is also noted that digital tracking of corrosion trends and formal dose-adjustment procedures improve program controllability and reduce the likelihood of localized damage. In industrial practice, the highest protection efficiency is most often achieved by combined programs employing film-forming inhibitors together with neutralizing amines, provided that salt formation and under-deposit corrosion risks are properly controlled.

Keywords: corrosion inhibitors, oil refining, overhead systems, film-forming inhibitors, neutralizing amines, corrosion monitoring.

Funding. *This research was carried out with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under Program No. BR24992812, "Development of Materials and Technologies for Comprehensive Corrosion Protection of Technological Equipment in the Petrochemical, Mechanical Engineering, and Instrument-Making Industries".*

For citations: *Nefedov A.N., Taikenova A.T. Current State of Organic Corrosion Inhibitor Application in Oil Refining. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences. 2026. No.1. Pp. 379–398. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.427>*

©Нефедов А.Н.¹, Тайекенова А.Т.^{1,2}, 2026.

¹«Д.В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты»
АҚ, Алматы, Қазақстан;

²Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,
Алматы, Қазақстан.

E-mail: a.taikenova@gmail.com

МҰНАЙ ӨНДЕУ ӨНЕРКӘСІБІНДЕ ОРГАНИКАЛЫҚ КОРРОЗИЯ ИНГИБИТОРЛАРЫН ҚОЛДАНУДЫҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ

Нефедов Александр — химия ғылымдарының кандидаты, ғылыми кеңесші, «Д.В.Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,
E-mail: a.nefedov@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0002-9070-0398>;

Тайекенова Арайлым — Магистрант, аға инженер, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті; «Д.В.Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,
E-mail: a.taikenova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8354-1704>.

Аннотация. Мұнай өндеу зауыттарындағы технологиялық жабдықтардың коррозиясы ағындардың көпфазалылығы, шикізат құрамының өзгергіштігі және агрессивті компоненттердің болуы салдарынан сенімділікке әсер ететін маңызды эксплуатациялық мәселе болып табылады; бұл факторлар коррозиялық қауіпті жағдайлардың локалды түрде қалыптасуына әкеледі. Ең осал аймақтарға



атмосфералық (және вакуумдық) колонналардың жоғарғы бөліктері және оларға іргелес конденсация-салқындату контурлары (overhead жүйелері), ыстық шикізат құбырлары мен жылу алмастырғыш тораптар жатады; мұнда хлоридті-қышқылды (HCl/Cl^-), күкіртсутекті ($\text{H}_2\text{S}/\text{HS}^-$), нафтенді және эрозиялық-коррозиялық бұзылу механизмдері қатар іске асады. Жұмыста мұнай өңдеу саласында органикалық коррозия ингибиторларын қолдану бойынша заманауи жарияланымдар, салалық стандарттар және практикалық ұсынымдар негізінде аналитикалық шолу ұсынылады және өнеркәсіптік жағдайда қорғаныш әсердің қайталанымына басымдық беріледі. Ингибиторлардың негізгі механизмдері (адсорбциялық-қабықшалы және электрохимиялық) және реагенттік бағдарламалардың функционалдық жіктелуі (қабықша түзуші ингибиторлар, бейтараптандырғыш аминдер, біріктірілген бағдарламалар) қарастырылды. Қорғаныштың нақты технологиялық торапта іске асуын айқындайтын факторлар жүйеленді: ингибитордың коррозионды-белсенді су қабықшасына/конденсатқа жеткізілуі, су-көмірсутек жүйелеріндегі фазалық таралуы, жоғары ығысу кернеулерінде қорғаныш қабықшасының тұрақтылығы, сондай-ақ технологиялық химиямен үйлесімділігі және тұз тұнбаларының түзілу бейімділігі. Талдау тиімділік тек реагенттің химиялық табиғатына ғана емес, енгізу нүктесін дұрыс таңдауға, араласу шарттарына және контур тармақтары бойынша біркелкі таралуына тәуелді екенін көрсетті. Нәтижені растау үшін кешенді мониторинг қажет екені көрсетілді: купондар, электрохимиялық әдістер, конденсаттың рН және иондық құрамы (Cl^- , NH_4^+), сондай-ақ тұнбалардың құрамын бақылау. Сонымен қатар коррозия көрсеткіштерін цифрлық трендтер арқылы бақылау және дозалауды түзету регламенттерін енгізу бағдарламаның басқарылуын арттырып, локалданған зақымдану ықтималдығын төмендететіні атап өтілді. Өндірісте ең жоғары нәтиже қабықша түзуші ингибиторлар мен бейтараптандырғыш аминдерді біріктіретін бағдарламалар арқылы, тұз түзілуі мен қабықшаасты коррозия тәуекелдерін бақылау жағдайында қамтамасыз етіледі.

Түйін сөздер: коррозия ингибиторлары, мұнай өңдеу өнеркәсібі, колонналардың жоғарғы бөліктері, қабықша түзуші ингибиторлар, бейтараптандырғыш аминдер, коррозия мониторингі

©Нефедов А.Н.¹, Тайекенова А.Т.^{1,2*}, 2026.

¹АО «Институт Топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный технический исследовательский университет имени К.И. Сатпаева.

*E-mail: a.taikenova@gmail.com

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ В НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ

Нефедов Александр — кандидат химических наук, научный консультант, АО «Институт Топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан,
E-mail: a.nefedov@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0002-9070-0398>;

Тайекенова Арайлым — магистрант, ведущий инженер, Казахский национальный технический исследовательский университет имени К.И. Сатпаева; АО «Институт Топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан,
E-mail: a.taikenova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8354-1704>.

Аннотация. Коррозия технологического оборудования нефтеперерабатывающих заводов остается одной из ключевых причин эксплуатационных потерь и снижения надежности вследствие многофазности потоков, переменного состава сырья и присутствия агрессивных компонентов, формирующих локальные коррозионно-опасные условия. Наиболее уязвимыми зонами являются верхние части атмосферных и вакуумных колонн, а также прилегающие конденсационно-охладительные контуры (оверхед-системы), трубопроводы горячего сырья и узлы теплообмена, где одновременно реализуются хлоридно-кислотные (HCl/Cl^-), сероводородные ($\text{H}_2\text{S}/\text{HS}^-$), нафтеновые и эрозионно-коррозионные механизмы разрушения. В работе представлен аналитический обзор современных публикаций, отраслевых стандартов и практических рекомендаций по применению органических ингибиторов коррозии в нефтепереработке с акцентом на воспроизводимость их действия в реальных условиях эксплуатации. Рассмотрены ключевые механизмы ингибирования - адсорбционно-пленочный и электрохимический, а также функциональная классификация реагентных программ, включающая пленкообразующие ингибиторы, нейтрализующие амины и комбинированные решения. Систематизированы факторы, определяющие реализуемость защиты на уровне конкретного технологического узла: доставка ингибитора в коррозионно-активную водную пленку или конденсат, фазовое распределение в водно-углеводородных системах, устойчивость защитной пленки при высоких сдвиговых напряжениях, а также совместимость с технологической химией и склонность к образованию солевых отложений. Показано, что эффективность ингибиторной защиты зависит не только от химической природы реагента и его номинальной концентрации, но и от корректного выбора точки ввода, условий смешения и равномерности распределения по ветвям контура. Подчеркивается необходимость комплексной верификации по данным мониторинга, включая купонные испытания, электрохимические методы, анализ pH и ионного состава конденсата (Cl^- , NH_4^+), а также контроль состава отложений. Отмечено, что цифровое отслеживание трендов коррозии и регламентированная корректировка дозирования повышают управляемость программы и снижают риск локализованных повреждений. На практике наибольшую результативность демонстрируют комбинированные программы, сочетающие пленкообразующие ингибиторы и нейтрализующие амины при контроле солеобразования и рисков подпленочной коррозии.

Ключевые слова: ингибиторы коррозии, нефтеперерабатывающая промышленность, верхние части колонн, пленкообразующие ингибиторы, нейтрализующие амины, мониторинг коррозии

Введение. Нефтеперерабатывающая промышленность относится к числу отраслей с повышенной коррозионной нагрузкой на технологическое оборудова-

ние, что обусловлено многофазностью потоков и вариативностью состава сырья и технологических сред. Коррозионно-опасные условия формируются локально. В первую очередь это зоны конденсации и образования водной плёнки, участки накопления солей/продуктов коррозии и области повышенных скоростей и турбулентности потока (Nešić, 2007; Kermani & Morshed, 2003; API, 2020). Такая неоднородность требует узлового подхода к управлению рисками и верификации противокоррозионных мероприятий.

Принципиальной особенностью нефтеперерабатывающих контуров является пространственная неоднородность распределения водной фазы и агрессивных компонентов. В результате коррозионно-опасные условия локализуются в отдельных зонах: в области образования кислых конденсатных плёнок, на участках со слабым смывом и накоплением солей/продуктов коррозии. Также коррозионные условия могут быть в местах с повышенным сдвиговым воздействием, где механическая составляющая усиливает электрохимическое разрушение металла. При этом локализованные повреждения могут развиваться при приемлемых средних значениях скорости коррозии, что повышает требования к системе контроля и верификации защитных мероприятий.

Коррозионные повреждения приводят к ускоренному износу аппаратов и трубопроводов, росту затрат на ремонт и техническое обслуживание, увеличению числа внеплановых остановов и повышению вероятности аварийных ситуаций. Поэтому управление коррозией на НПЗ рассматривается как элемент обеспечения эксплуатационной надёжности и промышленной безопасности.

В составе противокоррозионных мер (выбор материалов и покрытий, подготовка сырья, оптимизация режимов, контроль состава сред) органические ингибиторы коррозии являются технологически гибким инструментом. Они позволяют воздействовать на коррозионную обстановку без капиталоемкой модернизации оборудования. Вместе с тем устойчивость защитного эффекта в реальных условиях определяется не только выбором реагента, но и корректностью ингибиторной программы: зоной и способом ввода, условиями смешения и распределения по фазам, совместимостью с технологической химией и системой мониторинга.

По данным работ последних лет (2022-2024 гг.) ключевые причины неудач ингибиторных программ в эксплуатации связаны не с недостаточной ингибирующей способностью реагента как такового, а с неверной точкой ввода, недостаточным смешением/доставкой в водную плёнку и нарушением баланса нейтрализации, приводящим к солеобразованию в оверхед-контуре. Поэтому в обзоре отдельный акцент сделан на практико-ориентированных сценариях внедрения/корректировки ингибиторных программ и их верификации по данным мониторинга (Khudair, 2023; Jero et al., 2024).

В большинстве критических зон коррозионный процесс протекает не в объёме жидкости, а в тонком слое водной плёнки/конденсата на поверхности металла. Состав этой плёнки может заметно отличаться от состава объёмной фазы. Локальное обогащение водной плёнки хлоридами, продуктами гидролиза

солей и аммонийными соединениями, а также периодическое «влажно-сухо» с изменением толщины плёнки приводят к тому, что один и тот же реагент может демонстрировать различную эффективность в разных участках одного и того же контура. Следовательно, при оценке ингибиторных программ принципиально важно различать (i) номинальную концентрацию ингибитора в потоке и (ii) эффективную концентрацию в коррозионно-активной фазе, непосредственно контактирующей с металлом.

С точки зрения практического применения ингибиторы в нефтепереработке целесообразно рассматривать в логике «функция → условия реализуемости → подтверждение эффекта». Функциональная роль определяет, какой параметр среды или поверхности должен быть изменён (формирование барьерного слоя, регулирование кислотности конденсата, стабилизация межфазных условий и т.д.). Условия реализуемости включают фазовое распределение реагента, время контакта с коррозионно-активной фазой, интенсивность сдвиговых напряжений, температуру и наличие конкурирующих поверхностно-активных компонентов. Подтверждение эффекта требует мониторинга, способного фиксировать как средние значения скорости коррозии за период, так и риски локализованных поражений в кратковременные интервалы и в геометрически «слабых» зонах.

В связи с этим в обзоре отдельно рассматриваются: (1) структурные предпосылки защитного эффекта органических молекул и факторы стабильности защитной плёнки; (2) узловая применимость ингибиторных программ в зависимости от доминирующего механизма повреждения; (3) критерии выбора точки ввода и условия смешения; (4) минимально достаточная система контроля для подтверждения эффективности и раннего выявления локализованных процессов.

Цель настоящего обзора обобщить и критически проанализировать современные публикации, стандарты и практические рекомендации по применению органических ингибиторов коррозии в нефтепереработке с акцентом на функциональную классификацию, механизмы действия и особенности внедрения на ключевых технологических узлах НПЗ. Для достижения цели решались задачи: (1) систематизировать механизмы ингибирования и структурные предпосылки защитного эффекта; (2) рассмотреть основные классы ингибиторов и области рационального применения; (3) проанализировать узловые особенности внедрения ингибиторных программ с учётом гидродинамики, фазового состава и температурных условий; (4) обобщить практики контроля эффективности ингибиторной защиты.

Наиболее характерные механизмы коррозии и зоны их локализации в технологическом оборудовании обобщены на рисунке 1.

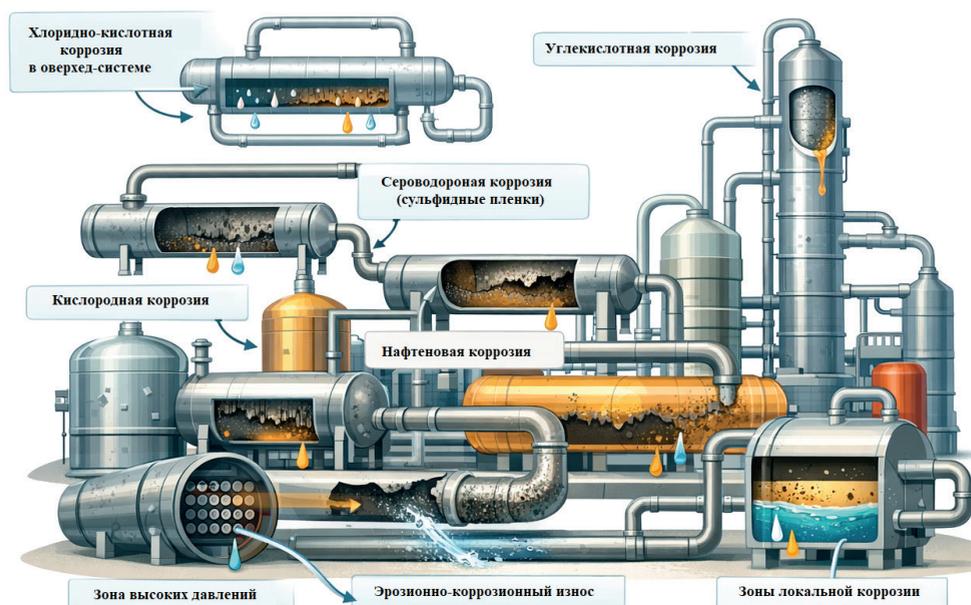


Рисунок 1. Основные коррозионные механизмы, характерные для оборудования нефтеперерабатывающих заводов

Новизна настоящего обзора заключается в узловой систематизации ингибиторных программ нефтепереработки с выделением критериев реализуемости защитного эффекта (доставка ингибитора в коррозионно-активную фазу, устойчивость плёнки в условиях сдвиговых напряжений и рисков отложений) и сопоставлением этих критериев с минимально достаточными практиками контроля эффективности для типовых технологических контуров.

Литературный обзор. Органические ингибиторы коррозии, применяемые в нефтепереработке, преимущественно относятся к поверхностно-активным соединениям, способным снижать скорость электрохимического растворения металла за счёт образования защитных слоёв на границе «металл-среда» и/или изменения кинетики анодных и катодных реакций (Hackerman et al., 1966; Попов, 2015; Mansfeld, 2005). В промышленной практике их применяют как элементы ингибиторных программ, где определяющими становятся функциональная роль реагента и соответствие условиям конкретного технологического узла.

Прикладные публикации 2022-2024 гг. по нефтепереработке показывают, что промышленная эффективность ингибиторных программ в оверхед-системах определяется настройкой режима и логистикой реагентов: выбором точки ввода, обеспечением контакта с коррозионно-активной фазой, поддержанием целевых значений pH конденсата и контролем рисков солеобразования/отложений. В работах также подчёркивается, что перенос точки ввода и корректировка дозирования могут существенно изменить картину коррозии в отдельных ветвях контура даже при неизменной “номинальной” концентрации реагента в потоке (Khudair, 2023; Jero et al., 2024).

С химико-структурной точки зрения защитное действие большинства органических ингибиторов обусловлено амфифильной природой молекул. Полярный фрагмент с донорными центрами (гетероатомы N, S, O и/или π -электронные системы) обеспечивает адсорбцию на активных участках металлической поверхности, тогда как гидрофобные углеводородные радикалы формируют барьерные свойства покрытия. Такая архитектура способствует увеличению степени покрытия поверхности и снижению её смачиваемости водной фазой, ограничивая транспорт коррозионно-активных компонентов (H^+ , Cl^- , HS^-/S^{2-} , растворённый CO_2 /угольная кислота) к металлу и уменьшая скорость коррозионного процесса (Bentiss et al., 2000; Noor & Al-Moubaraki, 2008). Схематическое представление адсорбционно-плёночного механизма действия органических ингибиторов коррозии, реализующегося при их взаимодействии с металлической поверхностью, показано на рисунке 2.

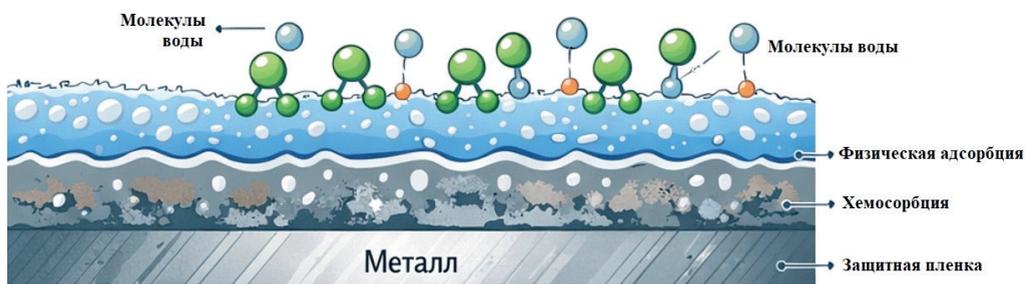


Рисунок 2. Схематическое представление адсорбционно-плёночного механизма действия органических ингибиторов коррозии

Важной характеристикой органических ингибиторов в условиях нефтепереработки является их распределение между углеводородной и водной фазами, а также способность концентрироваться на межфазной границе. Для плёнкообразующих ингибиторов целевым является достижение достаточной концентрации именно в водной плёнке (или на границе «вода-углеводороды»), поскольку электрохимическая коррозия протекает в присутствии электролита. При высоком содержании углеводородной фазы ингибитор может перераспределяться в органическую фазу, снижая доступность для водной плёнки, что формирует типовую причину расхождения лабораторных результатов и промышленной эффективности. В промышленных программах это учитывают подбором состава (молекулярная масса, полярность, наличие солубилизирующих фрагментов) и условиями ввода/смешения, обеспечивающими контакт реагента с коррозионно-активной фазой.

Адсорбция ингибитора на металле определяется не только наличием донорных центров, но и их пространственным расположением в молекуле, возможностью многоцентрового связывания и ориентацией молекулы на поверхности. Соединения с несколькими гетероатомами (N/O/S) и π -системами способны формировать более прочные адсорбционные комплексы, что повышает стойкость

плёнки при умеренных сдвиговых нагрузках. При этом увеличение длины углеводородного радикала, как правило, усиливает гидрофобность покрытия и барьерные свойства, но может ухудшать распределение в водной фазе и снижать скорость формирования защитного слоя. Таким образом, усиление барьерности за счёт гидрофобного фрагмента не является безусловным преимуществом и требует баланса между адсорбционной способностью и фазовой доступностью.

Устойчивость защитной плёнки в реальной эксплуатации определяется её механической прочностью и способностью к самовосстановлению. В условиях переменного режима смачивания и турбулентности эффективными оказываются системы, в которых молекулы ингибитора способны быстро перекрывать участки частичного разрушения покрытия («динамическая адсорбция»), что снижает вероятность формирования устойчивых локальных очагов. На участках со значительными сдвиговыми напряжениями критично не только наличие плёнки как таковой, но и её структурная однородность: разупорядоченное, «пятнистое» покрытие может снижать среднюю скорость коррозии, но оставлять условия для локализации процесса на открытых микроучастках.

Отдельный аспект – взаимодействие ингибиторной плёнки с продуктами коррозии и отложениями. В ряде контуров защитный эффект реализуется в смешанном режиме: органическая плёнка снижает смачиваемость и замедляет перенос реагентов, а продукты коррозии/солевые отложения формируют дополнительное диффузионное сопротивление. Однако при неоднородности отложений возникают микросреды с иными значениями pH и концентрациями $\text{Cl}^-/\text{NH}_4^+/\text{HS}^-$, что повышает риск подплёночной коррозии. Поэтому устойчивость ингибиторной защиты требует контроля не только электрохимического отклика, но и склонности к отложениям и их состава в критических зонах.

Формирование защитного эффекта для большинства плёнообразующих ингибиторов связано с адсорбционно-плёночным механизмом. Адсорбция органических соединений часто описывается изотермами Лэнгмюра или Фрумкина, что отражает ограниченность числа активных центров и возможные взаимодействия молекул в адсорбционном слое. Рост концентрации ингибитора увеличивает степень покрытия и снижает долю открытых участков металла, доступных для анодного растворения и катодных реакций, что проявляется в уменьшении плотности коррозионного тока и росте поляризационного сопротивления (Bentiss et al., 2000; Noor & Al-Moubaraki, 2008; Ebenso et al., 2006). При этом в технологических средах эффективность существенно зависит от температуры и солевого фона, определяющих кинетику адсорбции и устойчивость сформированного покрытия.

Наряду с барьерным действием плёнообразующие ингибиторы способны влиять на электрохимическую кинетику коррозионных реакций, проявляя анодный, катодный или смешанный характер ингибирования. Это выражается в изменении поляризационных кривых, снижении плотности коррозионного тока и вариации наклонов тафелевских участков, что используется для электрохимической оценки эффективности ингибирования (Mansfeld, 2005). В сероводородсодержащих

средах значимым фактором становится взаимодействие органической плёнки с сульфидными слоями железа: такие слои могут временно снижать скорость коррозии, однако при неоднородности и нарушении целостности создают условия для локализованных и подплёночных процессов (Nešić et al., 2001; Nešić, 2007).

К числу распространённых классов органических ингибиторов, применяемых в нефтепереработке, относятся имидазолины и их производные, амидоимидазолины, кватернизованные аммониевые соединения, жирные амины и амиды, а также фосфатные и фосфонатные эфиры. Имидазолины и амидоимидазолины (часто на основе жирных кислот и полиаминов) способны формировать адсорбционно-плёночное покрытие на углеродистых сталях в водно-углеводородных системах и сохранять активность в присутствии растворённых солей и сернистых компонентов (Hackerman et al., 1966; Попов, 2015). Кватернизованные аммониевые соединения характеризуются высокой поверхностной активностью и быстрым формированием защитного слоя при низких концентрациях, однако их результативность заметно зависит от pH и солевого фона. Фосфатные и фосфонатные производные рассматриваются как ингибирующие компоненты, способные усиливать устойчивость покрытия в определённых условиях среды, но требуют проверки совместимости с технологической химией.

Отдельную функциональную группу составляют нейтрализующие амины, применяемые в верхних частях атмосферных (и вакуумных) колонн и прилегающих конденсационно-охладительных контурах. Их действие связано со связыванием HCl и регулированием кислотности конденсатной плёнки; при этом устойчивый эффект возможен только при контроле солеобразования и отложений, поскольку аммонийные соли (NH_4Cl , NH_4HS) способны формировать условия для подплёночной и локализованной коррозии. В настоящей работе нейтрализующие амины (NA) рассматриваются как реагенты для регулирования pH и снижения кислотности конденсата (связывание HCl), тогда как плёнокообразующие ингибиторы (FFI) обеспечивают барьерную защиту за счёт формирования гидрофобной плёнки на поверхности металла (API 932-B, 2014; AMPP SP0108, 2018; Kankaanpää et al., 2013).

Таким образом, классификация ингибиторов в нефтепереработке должна рассматриваться в привязке к условиям реализуемости защитного механизма в конкретном контуре: способности реагента формировать устойчивое покрытие при заданной гидродинамике, фазовом составе и температуре, а также при наличии технологической химии и продуктов коррозии. Обобщённые сведения о классах ингибиторов, механизмах, ограничениях и рациональных зонах применения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные классы органических ингибиторов коррозии, применяемых в нефтепереработке

Класс ингибиторов	Основные функциональные группы	Типичный механизм	Рациональная область применения	Ключевое ограничение/риск	Типовая зона ввода/присутствия
Имидазолины	N, л-системы	Адсорбционно-плёночный	Многофазные трубопроводы, линии сырья, контуры с водной плёнкой	Срыв/истончение плёнки при высоких сдвиговых нагрузках; конкуренция с ПАВ и технологической химией	До защищаемого узла при обеспечении смешения и контакта с водной фазой
Амидо-мидазолины	N, O	Смешанный (плёнка + кинетика)	Многофазные потоки, трубопроводы, отдельные узлы теплообмена	Сильная зависимость от фазового состава и температуры; вариативность адсорбции	Перед зонами, где формируется/стабилизируется водная плёнка; в поток до критической зоны
Кватернизованные аммониевые соединения	N ⁺	Плёнкообразующий/ПАВ-эффект	Конденсатные плёнки, конденсационно-охладительные контуры	Чувствительность к pH и солевому фону; снижение эффекта при отложениях; риск подплёночной локализации	В линии/контуры, где требуется быстрое покрытие поверхности при наличии водной плёнки
Жирные амины и амиды	-NH-, -CONH-	Барьерный слой (снижение смачиваемости)	Водно-углеводородные системы, трубопроводы, конденсатные участки	Влияние конкурентных реагентов; нестабильность плёнки при смене режима смачивания	До участков образования водной фазы/конденсата; при условии равномерного распределения
Нейтрализующие амины	-NH ₂ , -NH-	Регулирование pH водной фазы, связывание HCl	Верхние части атмосферных (и вакуумных) колонн и прилегающие конденсационно-охладительные контуры	Риск солеобразования (NH ₄ Cl/NH ₄ HS) при неверном балансе; неравномерность распределения по контуру	В область конденсации/в линии конденсата с контролем распределения по контуру и pH
Фосфатные/фосфонатные эфиры	P-O, P=O	Адсорбционно-плёночный/комплексобразование	Специализированные контуры и комбинированные программы	Требовательность к условиям формирования плёнки; совместимость с химией процесса	По результатам подбора под конкретный контур (температура, солевой фон, фазы)

Представленные в таблице 1 классы ингибиторов и их функциональные роли демонстрируют, что универсального реагента для всех условий нефтепереработки не существует: один и тот же класс соединений может проявлять различную эффективность при изменении температуры, солевого фона, фазового распределения и режима течения. Поэтому при анализе литературных данных

и отраслевых рекомендаций важно не только перечислять типы ингибиторов, но и сопоставлять их с условиями применимости и используемыми методами подтверждения защитного эффекта. Данные положения определили подход к построению настоящего обзора и критерии сопоставления источников, изложенные в следующем разделе.

Методология аналитического обзора. Настоящая работа выполнена в формате аналитического обзорного исследования и основана на систематизации и критическом сопоставлении опубликованных научных данных, отраслевых стандартов и практических рекомендаций, посвящённых применению органических ингибиторов коррозии в нефтеперерабатывающей промышленности. В качестве информационной базы использованы публикации в рецензируемых научных журналах, а также нормативные и руководящие документы API и AMPР (ex-NACE), отражающие подходы к управлению коррозией и применению реагентных программ в технологических контурах нефтеперерабатывающих установок. Дополнительно включены источники 2022-2024 гг., содержащие описание эксплуатационных случаев, корректировок ингибиторных программ и результатов промышленной верификации (изменение точек ввода, анализ причин локализации коррозии, сопоставление дозирования с рН/ионным составом конденсата и данными мониторинга) (Al-Sabagh et al., 2022; Khudair, 2023; Jero et al., 2024).

В обзор включены публикации и материалы за 2000-2024 гг. (с приоритетом работ 2015-2024 гг.), содержащие: (i) описание механизма действия органических ингибиторов (адсорбционные, плёнообразующие и комбинированные механизмы); (ii) данные о применении реагентных программ в типовых узлах НПЗ (оверхед-системы, теплообменное оборудование, водяные и кислотные контуры); (iii) показатели оценки эффективности (скорость коррозии, потенциодинамические/импедансные параметры, результаты купонного контроля, показатели рН конденсата, склонность к солеобразованию и отложениям). Исключались источники, не относящиеся к нефтепереработке или не содержащие привязки к технологическим условиям (температура, состав фаз, гидродинамика), а также публикации без верифицируемых критериев оценки эффективности.

Отбор и анализ источников выполнялись с ориентацией на применимость к промышленным условиям НПЗ. Приоритет отдавался материалам, содержащим параметры среды и режима (температура, присутствие HCl/Cl⁻, H₂S, CO₂, органических кислот, солевой фон), а также сведения о фазовом составе и гидродинамике, влияющих на формирование и устойчивость защитных плёнок ингибиторов.

Сопоставление литературных данных проводилось по единой схеме: идентификация доминирующего механизма повреждения и критической зоны, определение функционального типа ингибиторной программы (плёнообразующая, нейтрализующая, комбинированная), оценка условий доставки и распределения реагента (точка ввода, требования к смешению, контакт с водной фазой), а также анализ ограничений (устойчивость покрытия при высоких

сдвиговых напряжениях, риск солеобразования и отложений, совместимость с технологической химией).

Отдельное внимание уделялось подходам к оценке эффективности ингибирования и мониторингу коррозионного состояния оборудования. В рамках обзора анализировались данные электрохимических методов (поляризационное сопротивление, электрохимическая импедансная спектроскопия) и интегральных испытаний с применением коррозионных купонов. При интерпретации учитывалось, что электрохимические методы позволяют фиксировать оперативный отклик системы на изменение режима и дозирования, тогда как купоны отражают интегральный эффект за период эксплуатации и применимы для верификации трендов.

Систематизация результатов обзора выполнена с привязкой к ключевым технологическим узлам: блокам подготовки и обессоливания нефти и линиям подачи сырья, горячим трубопроводам и теплообменному оборудованию, атмосферным колоннам и их верхним частям с прилегающими конденсационно-охладительными контурами, а также дренажным и конденсатоотводящим линиям.

Результаты. Анализ публикаций и отраслевых рекомендаций показывает, что практическая применимость органических ингибиторов в нефтепереработке определяется узловыми условиями эксплуатации и фазовым режимом коррозионно-активной среды. Наиболее критичными ограничивающими факторами выступают: (i) перераспределение реагента между углеводородной и водной фазами и неравномерность смачивания; (ii) локальные зоны повышенных сдвиговых напряжений, приводящие к истончению/срыву защитных плёнок; (iii) отложения, формирующие подплёночные микросреды и поддерживающие локализованную коррозию. В таблице 2 обобщены типовые технологические узлы, доминирующие факторы коррозии и минимально достаточные показатели контроля эффективности ингибиторных программ (Bentiss et al., 2000; Nešić, 2007).

Таблица 2 – Особенности применения ингибиторных программ на ключевых технологических узлах нефтеперерабатывающих заводов

Технологический узел	Доминирующие факторы коррозии	Тип ингибиторной программы	Ключевые риски	Показатели контроля (минимум)	Типовой механизм снижения эффективности
Блоки подготовки нефти и обессоливания; линии подачи сырья	Водно-солевая фаза, Cl ⁻ , переменное водосодержание; перенос солей	Плёнкообразующие ингибиторы (с учётом совместимости)	Несовместимость с деэмульгаторами; ухудшение фазоразделения; рост переноса солей в последующие узлы	Вода и соли в нефти; Cl ⁻ в водной фазе; стабильность эмульсии/качество разделения; тренд коррозии по купонам/электрохимии (при наличии)	Снижение эффективности из-за перераспределения ПАВ и ухудшения разделения фаз → рост переноса Cl ⁻ и усиление коррозионной нагрузки в последующих узлах (ниже по потоку)

Горячие трубопроводы сырья; участки перед печами/ после печей	Высокая температура; сернистые компоненты; при повышенном TAN – нафтенновые кислоты; переменная гидродинамика	Специализированные плёнообразующие/комбинированные композиции (по условиям температуры)	Термическая нестабильность реагента; недостаточная плёнообразующая способность при высоких температурах; риск локализации в зонах изменения потока	Тренд скорости коррозии (электрохимия/ купоны); контроль сырья (в т.ч. TAN при необходимости); анализ продуктов коррозии/отложений	Снижение защиты из-за деградации/разупорядочивания плёнки при высокой температуре и изменения фазового режима
Теплообменное оборудование (входные участки, зоны интенсивного теплообмена)	Повышенные скорости, турбулентность; неоднородность фаз; отложения	Плёнко-образующие ингибиторы повышенной устойчивости; специализированные композиции	Срыв/истончение плёнки при высоких сдвиговых напряжениях; локальные «горячие точки»; подплёночная коррозия под отложениями	Электрохимический контроль (при наличии); купоны в критических зонах; анализ отложений; динамика ΔP /тепловых параметров (как косвенные признаки)	Механический срыв плёнки + формирование подплёночных микросред под отложениями
Атмосферные (и вакуумные) колонны: верхние части и прилегающие конденсационно-охладительные контуры	HCl/Cl^- в конденсате; NH_4Cl/NH_4HS ; переменное смачивание; зоны конденсации	Комбини-рованные программы: нейтрализующие амины + плёнообразующие ингибиторы	Солеобразование и отложения аммонийных солей; подплёночная/локализованная коррозия; неравномерность распределения реагента	pH конденсата; Cl^- и NH_4^+ в конденсате; признаки солеотложения; купоны/электрохимия в конденсационных линиях	Снижение эффективности при неверном балансе нейтрализации и плёнообразования + отложения солей → локализация коррозии
Дренажные и конденсаторо-отводящие линии; низкотемпературные участки с периодическим смачиванием	Конденсационные плёнки; кислые/солёные воды; переменный режим «влажно–сухо»	Плёнко-образующие (при необходимости) + корректировка химического режима водной фазы	Локализация в застойных зонах; подплёночные процессы; трудность репрезентативного контроля	Химический анализ водной фазы; купоны в зонах риска; контроль отложений	Неустойчивость плёнки из-за переменного смачивания и локального накопления солей/продуктов коррозии

Эффективность ингибиторной программы в нефтепереработке в значительной степени определяется выбором точки ввода и режимом смешения, обеспечивающим доставку реагента к коррозионно-опасной зоне. В промышленной схеме ингибитор должен быть перенесён потоком, перераспределён между фазами и, в конечном итоге, попасть в водную плёнку/конденсат, контактирующий с металлом. Поэтому при выборе точки ввода учитывают: (i) наличие и место образования водной фазы (конденсация, выделение свободной воды, водоотделение); (ii) время контакта и длину участка до критической зоны; (iii) достаточность турбулентности/смешения для распределения реагента; (iv) температурный профиль, влияющий на растворимость и скорость адсорбции; (v) вероятность потерь реагента на сорбции на отложениях или «перехвата» другими ПАВ.

Для плёнообразующих ингибиторов рационально выбирать такие точки ввода, при которых обеспечивается ранний контакт с коррозионно-активной фазой и формирование первичного защитного слоя до входа в геометрически напряжённые зоны (колена, входы теплообменников, участки дросселирования). Для программ, ориентированных на верхние части колонн и конденсационно-охладительные контуры, ключевым является распределение реагента по

пути образования конденсатной плёнки: даже корректное дозирование нейтрализующего компонента может быть недостаточным при неравномерном распределении по ветвям контура и при наличии зон с различными скоростями конденсации. В таких случаях эффективность программы определяется не общей дозой, а равномерностью доставки по наиболее коррозионно-опасным линиям.

При проектировании ингибиторной программы целесообразно формулировать проверяемые критерии реализуемости: (1) достижение целевых показателей водной фазы (рН, Cl^- , NH_4^+ и др.) в контрольных точках; (2) наличие признаков формирования защитного слоя (косвенно – по тренду электрохимических показателей/купонов); (3) отсутствие технологически нежелательных эффектов (ухудшение фазоразделения, рост отложений, увеличение перепада давления, ухудшение теплообмена). Такая постановка позволяет оценивать не «вообще эффективность ингибитора», а корректность всей программы как совокупности реагента, точки ввода и условий доставки.

Для ранних участков технологической схемы (подготовка нефти, обессоливание и линии подачи сырья) определяющими являются присутствие водной фазы и перенос растворённых хлоридов. Ингибиторная защита на данном этапе должна внедряться при обязательной проверке совместимости с деэмульгаторами и режимом фазоразделения, поскольку ухудшение обезвоживания/обессоливания приводит к переносу солей в последующие узлы и росту коррозионной нагрузки в атмосферных колоннах и теплообменном оборудовании.

Для горячих трубопроводов и высокотемпературных участков защитный эффект зависит от термостойкости реагента и устойчивости покрытия при изменении фазового режима; при переработке нефтей с повышенным кислотным числом возрастает вклад нафтенной коррозии, что требует специализированных ингибиторных композиций и контроля факторов, определяющих агрессивность среды (API, 2020).

Для теплообменников и зон повышенных скоростей критичным становится гидродинамический фактор: турбулентность и высокие сдвиговые напряжения приводят к истончению или частичному срыву плёнки, а отложения создают предпосылки для подплёночных процессов. Поэтому оценка эффективности на таких участках должна учитывать локализацию повреждений и характеристики отложений, а не ограничиваться только усреднёнными значениями скорости коррозии.

Наиболее коррозионно-опасные условия характерны для верхних частей атмосферных (и вакуумных) колонн и прилегающих конденсационно-охладительных контуров. В этих условиях устойчивый эффект обеспечивает комбинированная программа: нейтрализующие амины регулируют кислотность конденсата, а плёнообразующие ингибиторы снижают контакт металла с водной плёнкой. При этом критически важны точка ввода реагентов, согласование дозировок и контроль солеобразования, поскольку отложения аммонийных солей способны создавать условия для локализованной и подплёночной коррозии (API 932-B, 2014; Kankaanpää et al., 2013; AMPP SP0108, 2018).

В целом, подтверждение эффективности ингибиторных программ требует критериев контроля, учитывающих как средние значения, так и риск локализованной коррозии в критических точках контура.

Обсуждение. Органические ингибиторы коррозии в нефтепереработке не следует рассматривать как универсальное средство, эффективность которого определяется исключительно химическим составом реагента или его номинальной концентрацией в потоке. Практическая результативность ингибиторных программ формируется эксплуатационными условиями, определяющими реализуемость защитного механизма в критических зонах: достигает ли ингибирующий компонент поверхности металла в требуемой форме, формируется ли сплошной защитный слой и сохраняется ли он при переменном режиме течения и фазового распределения. В этой связи оценка ингибирования в нефтепереработке должна опираться на узловые условия формирования плёнки и риски локализованных повреждений, а не только на «средний эффект по системе».

С практической точки зрения целесообразно выделять типовые сценарии снижения эффективности. Первый сценарий связан с недостаточной реализуемостью доставки реагента в критические зоны (ошибки точки ввода, недостаточное смешение, неблагоприятное фазовое распределение). Второй сценарий обусловлен деградацией защитного покрытия в зонах повышенной гидродинамической нагрузки и турбулентности. Третий сценарий характерен для высокотемпературных контуров, где изменяются условия адсорбции/десорбции и прочность плёночной структуры; здесь возрастает роль подбора специализированных композиций и режима ввода. Четвёртый сценарий связан с взаимодействием ингибиторов с технологической химией и поверхностно-активными компонентами системы: конкуренция за адсорбционные центры и изменение межфазных свойств способны уменьшать степень покрытия и снижать устойчивость защитного слоя. Пятый сценарий – подплёночные процессы под отложениями: микросреды с отличающимися значениями pH и концентрациями агрессивных ионов могут поддерживать локализованную коррозию даже при наличии ингибитора. Особенно критично это для верхних частей колонн и конденсационно-охладительных контуров, где совместное влияние кислых конденсатных плёнок и солеобразования аммонийных соединений формирует предпосылки для локализованных поражений.

Следует отметить, что описанные сценарии в последние годы подтверждаются прикладными публикациями по эксплуатации CDU-оверхедов: перенос/оптимизация точки ввода и корректировка химического режима водной фазы рассматриваются как ключевые меры стабилизации коррозионной обстановки, особенно при рисках солеобразования и подплёночных процессов. Это подчёркивает необходимость оценивать не только “тип ингибитора”, но и реализуемость программы в конкретных ветвях контура и по данным мониторинга (Khudair, 2023; Jero et al., 2024).

Выбор и интерпретация методов мониторинга имеют принципиальное значение. Купоны дают интегральную оценку за период, но могут не фиксировать кратковременные пики коррозионной активности и локальные нарушения плёнок.

Электрохимические методы обеспечивают оперативный отклик, однако требуют корректной постановки измерений и учёта влияния ингибиторной плёнки на параметры переноса заряда и ёмкостные характеристики поверхности (Mansfeld, 2005). Наиболее надёжный подход связан с интеграцией электрохимического контроля, купонных испытаний и анализа водной фазы/конденсатов.

Для повышения воспроизводимости результатов в промышленных условиях ингибиторную защиту целесообразно внедрять по алгоритму, ориентированному на узловую специфику и проверяемые критерии. На первом этапе выполняют идентификацию доминирующего механизма повреждения и коррозионно-опасной фазы (водная плёнка/конденсат, кислый конденсат, сероводородсодержащая вода, участки с повышенной скоростью потока и т.д.). На втором этапе выбирают функциональный тип программы: плёнокообразующая, нейтрализующая или комбинированная, определяя, какие параметры должны быть изменены (покрытие поверхности, pH, устойчивость конденсатной плёнки, снижение смачиваемости, уменьшение агрессивности электролита). На третьем этапе обосновывают точку ввода и условия доставки реагента (смешение, время контакта, распределение по ветвям контура), а также оценивают совместимость с действующей технологической химией. На четвёртом этапе задают систему подтверждения эффекта: определяют набор контрольных точек и показателей, которые должны реагировать на изменение дозировки. На пятом этапе выполняют пилотную настройку дозирования с учётом запаздывания отклика системы и особенностей накопления защитной плёнки, после чего фиксируют рабочий диапазон доз и критерии корректировки. Такой подход позволяет отличать ситуацию «ингибитор не работает» от ситуации «программа реализована некорректно» (ошибка ввода, распределения, конкуренция реагентов, локальные отложения и т.п.).

Современные тенденции развития ингибиторных технологий связаны с повышением экологической безопасности реагентов, снижением токсичности и расширением применения «зелёных» ингибиторов при сохранении требуемого уровня защиты (Verma et al., 2021). Дополнительно развивается интеграция ингибиторных программ с цифровыми инструментами мониторинга и моделирования, позволяющими учитывать эксплуатационные факторы, прогнозировать коррозионные риски и оптимизировать расход реагентов.

Таблица 3 – Методы мониторинга и верификации эффективности ингибиторной защиты (в нефтепереработке)

Метод контроля	Что отражает	Сильная сторона	Ограничение	Когда особенно полезен
Купонные испытания (масса/повреждения)	Интегральная скорость и характер коррозии за период	Реальная экспозиция, оценка локализации по виду повреждений	Не фиксирует кратковременные пики; нужна корректная установка и экспозиция	Подтверждение трендов; сравнение «до/после» изменения программы
Электрохимический контроль (LPR/Rp)	Оперативный отклик системы на изменения режима/дозировки	Быстрый сигнал; удобно для настройки дозирования	Чувствителен к состоянию поверхности/плёнок; требует грамотной интерпретации	Пуск/настройка программы; контроль нестабильных режимов

EIS (импеданс)	Сопротивления и ёмкостные характеристики поверхности/плёнок	Диагностика состояния плёнки и процессов переноса заряда	Сложнее постановка и анализ; чувствителен к шумам/условиям	Углублённая оценка качества защитной плёнки
Химический анализ водной фазы/конденсата (рН, Cl ⁻ , NH ₄ ⁺ и др.)	Агрессивность электролита в критических зонах	Прямые «индикаторы режима» для верхних частей колонн	Не показывает скорость коррозии напрямую	Контроль нейтрализации, солеобразования и риска подплёночных процессов
Анализ отложений/продуктов коррозии	Склонность к подплёночным процессам и механизм повреждения	Выявляет причины локализации (соли/сульфиды/оксиды)	Периодический характер, зависит от отбора проб	При повторяемых дефектах и подозрении на подплёночную коррозию
Косвенные технологические индикаторы (ΔР, теплопередача)	Накопление отложений/изменение гидродинамики	Раннее предупреждение о проблемах отложений	Косвенность, требуется подтверждение	Для теплообменников и участков со склонностью к отложениям

Таблица 3 отражает, что на практике требуется сочетание оперативных и интегральных методов контроля, дополняемых анализом водной фазы и отложений. Выбор минимального набора контроля зависит от узла: для верхних частей колонн и конденсационно-охладительных контуров критичны индикаторы режима водной фазы (рН, Cl⁻, NH₄⁺) и признаки солеобразования; для теплообменников и зон высоких скоростей – сочетание купонов/электрохимии с анализом отложений и косвенными показателями нарушения теплообмена.

Заключение. Проведённый аналитический обзор показывает, что органические ингибиторы коррозии сохраняют ключевую роль в системе противокоррозионной защиты оборудования нефтеперерабатывающих заводов, обеспечивая снижение коррозионной активности технологических сред и повышение эксплуатационной надёжности при умеренных эксплуатационных затратах.

Установлено, что устойчивость защитного эффекта в промышленной эксплуатации определяется корректностью ингибиторной программы на уровне конкретного технологического узла: обоснованием зоны и способа ввода, условиями распределения реагента по фазам и критическим участкам, устойчивостью покрытия при фактической гидродинамике и температуре, а также совместимостью с технологической химией. Наиболее критичными остаются верхние части атмосферных (и вакуумных) колонн и прилегающие конденсационно-охладительные контуры, где устойчивые результаты достигаются комбинированными программами при контроле рН конденсата и склонности к солеотложениям. Для зон высоких скоростей и теплообменного оборудования приоритетным является устойчивость плёнки и контроль локализации повреждений; для блоков подготовки нефти и обессоливания – подтверждение совместимости ингибитора с реагентами, влияющими на фазоразделение и перенос солей.

Показано, что репрезентативная верификация эффективности ингибиторной

защиты требует комплексного мониторинга по принципу «оперативный сигнал + интегральная верификация»: электрохимический контроль для отслеживания динамики и купоны/анализ водной фазы для подтверждения накопленного эффекта и выявления рисков локализованной коррозии. Соблюдение указанных принципов обеспечивает переход от применения ингибитора как единичного реагента к управлению ингибиторной программой как инструментом снижения эксплуатационных рисков и повышения надёжности оборудования нефтеперерабатывающих заводов.

Использование инструментов ИИ. При подготовке рукописи использовались инструменты искусственного интеллекта в качестве вспомогательных средств для языковой и стилистической правки текста, а также для структурирования обзорного материала. Использование ИИ не влияло на научное содержание, интерпретацию данных и выводы исследования. Ответственность за достоверность и оригинальность представленного материала полностью несут авторы.

References

- API. (2020). API RP 571: Damage mechanisms affecting fixed equipment in the refining industry (3rd ed.). American Petroleum Institute. (in English)
- API. (2014). API RP 932-B: Design, materials, fabrication, operation, and inspection of hydrogen chloride corrosion control systems for refineries. American Petroleum Institute. (in English)
- Bentiss F., Traisnel M., & Lagrenée M. (2000). The substituted 1,3,4-oxadiazoles as corrosion inhibitors of mild steel in acidic media. *Corrosion Science*, 42(1). – P. 127-146. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(99\)00049-3](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(99)00049-3) (in English)
- Churchill S.W., & Usagi R. (1972). A general expression for the correlation of heat and mass transfer. *AIChE Journal*, 18(6). – P. 1121-1128. <https://doi.org/10.1002/aic.690180613> (in English)
- Ebenso E.E., Eddy N.O., & Odiongenyi A.O. (2006). Adsorption and corrosion inhibiting properties of some ethanolamines on mild steel in acidic medium. *Portugaliae Electrochimica Acta*, 24(2). – P. 219-231. (in English)
- Hackerman N., Snavely E.S., & Payne J.R. (1966). The inhibition of steel corrosion by imidazolines. *Corrosion*, 22(8). – P. 239-246. <https://doi.org/10.5006/0010-9312-22.8.239> (in English)
- Kankaanpää H., Salonen J., Rantala J., & Kuikka S. (2013). Overhead corrosion in crude distillation units—Mitigation and monitoring. *Materials Performance*, 52(2). – P. 50-56. (in English)
- Kermani M.B., & Morshed A. (2003). Carbon dioxide corrosion in oil and gas production—A compendium. *Corrosion*, 59(8). – P. 659-683. <https://doi.org/10.5006/1.3277596> (in English)
- Mansfeld F. (2005). Electrochemical methods for corrosion monitoring. *Corrosion Science*, 47(12). – P. 3178-3189. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2005.04.012> (in English)
- Nešić S. (2007). Key issues related to modelling of internal corrosion of oil and gas pipelines—A review. *Corrosion Science*, 49(12). – P. 4308-4338. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2007.06.006> (in English)
- Nešić S., Lunde L., & Nyborg R. (2001). Mechanistic modeling of CO₂ corrosion with protective iron carbonate films. *Corrosion*, 57(7). – P. 603-611. <https://doi.org/10.5006/1.3280607> (in English)
- Popov B.N. (2015). *Corrosion engineering: Principles and solved problems*. Elsevier. (in English)
- Rajahram S.S., Harvey T.J., & Wood R. J.K. (2009). Erosion–corrosion mechanisms in pipelines—A review. *Wear*, 267(11). – P. 195-208. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2009.01.007> (in English)
- Schweitzer P. A. (2018). *Corrosion and corrosion protection handbook* (2nd ed.). CRC Press. (in English)
- Al-Sabagh A.M., Migahed M.A., Sayed G.H., & Khafagi M.G. (2022). Recent advances in corrosion inhibition of carbon steel in acidic media. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208. – P. 109282. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109282> (in English)
- Noor E.A., & Al-Moubaraki A.H. (2008). Thermodynamic study of metal corrosion and inhibitor

adsorption processes in mild steel/1-methyl-4[1H]-pyridinone system. *Materials Chemistry and Physics*, 110(1). – P. 145-154. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2008.01.028> (in English)

Verma C., Ebenso E.E., & Quraishi M.A. (2021). Sustainable and green corrosion inhibitors for metals: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 321. – P. 114919. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114919> (in English)

Jero D., Caussé N., & Pébère N. (2024). Film-forming amines as corrosion inhibitors: a state-of-the-art review. *npj Materials Degradation*, 8. – P. 111. <https://doi.org/10.1038/s41529-024-00523-0> (in English)

Li R., Huang H., Wang X., & Wang Y. (2022). Effect of ammonium salt on corrosion of pipelines and components in a crude oil distillation column: Electrochemical and AIMD studies. *Corrosion Science*, 203. – P. 110362. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2022.110362> (in English)

Khudair W.S., Shattab S.N., Mohammed M.A., & Kahthim M.A. (2023). Corrosion in Crude Oil Distillation Units (CDUs) and a Study of Reducing Its Rates by Changing Chemical Injection Sites. *Journal of Petroleum Research & Studies*, 13(3). – P. 143-161. <https://doi.org/10.52716/jprs.v13i3.718> (in English)

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP

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 journals of the Central Asian Academic Research Center LLP implies that the described work 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 Central Asian Academic Research Center LLP 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 Cross Check originality detection service <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 Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

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

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

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 16.03.2026.

Формат 60x88¹/₈.

18,0 п.л. Заказ 1.