

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF CHEMISTRY**

ISSN: 2224-5286 (Print)
ISSN: 2518-1491 (Online)

**№3
2026**

ISSN 2518-1491 (Online),
ISSN 2224-5286 (Print)



ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

3 (468)

JULY – SEPTEMBER 2026

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY

Editor in chief:

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

Editorial board:

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich (deputy editor-in-chief) 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>

AGABEKOV Vladimir Enokovich (deputy editor-in-chief), doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Belarus, honorary director of the Institute of Chemistry of new materials (Minsk, Belarus) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

STRNAD Miroslav, head of the laboratory of the Institute of Experimental Botany of the Czech Academy of Sciences, professor (Olomouc, Czech Republic), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

BURKITBAYEV Mukhambetkali, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

HOHMANN Judith, head of the department of pharmacognosy, faculty of Pharmacy, University of Szeged, director of the interdisciplinary center for Life sciences (Szeged, Hungary), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

ROSS Samir, Ph.D, professor, school of Pharmacy, National Center for scientific research of Herbal Products, University of Mississippi (Oxford, USA), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

KHUTORYANSKY Vitaly, Ph.D, pharmacist, professor at the University of Reading (Reading, England), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

TELTAYEV Bagdat Burkhanbayuly, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

PHARUK Asana Dar, professor at Hamdard al-Majid college of Oriental medicine, faculty of Oriental medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

FAZYLOV Serik Drakhmetovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, deputy director of the Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

ZHOROBEKOVA Sharipa Zhorobekovna, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Kyrgyzstan, Institute of Chemistry and chemical technology of NAS KR (Bishkek, Kyrgyzstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

KHALIKOV Jurabay Khalikovich, doctor of chemistry, professor, academician of the Academy of Sciences of Tajikistan, V.I. Nikitin Institute of Chemistry AS RT (Tajikistan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

FARZALIEV Vagif Medzhid ogly, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Azerbaijan (Azerbaijan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

GARELIK Hemda, PhD in chemistry, president of the department of Chemistry and Environment of the International Union of Pure and Applied Chemistry (London, England), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (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 № **KZ23VPY00121156**, issued 05.06.2025

Thematic scope: *organic chemistry, inorganic chemistry, catalysis, electrochemistry and corrosion, pharmaceutical chemistry and technology.*

Periodicity: 4 times a year.

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2026

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ХФАҚ және ҚР ҰҒА академигі, Мұнай өңдеу және мұнай-химиясы ғылыми-зерттеу институтының бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=66021779606>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакция алқасы:

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

АГАБЕКОВ Владимир Енокович (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі, Жаңа материалдар химиясы институтының құрметті директоры (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

СТРНАД Мирослав, профессор, Чехия ғылым академиясының Эксперименттік ботаника институтының зертхана меңгерушісі (Оломоуц, Чехия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

ХОХМАНН Джудит, Сегед университетінің Фармацевтика факультетінің Фармакогнозия кафедрасының меңгерушісі, Жаратылыстану ғылымдарының пәнаралық орталығының директоры (Сегед, Венгрия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

РОСС Самир, PhD, Миссисипи университетінің Өсімдік өнімдерін ғылыми зерттеу ұлттық орталығы, Фармация мектебінің профессоры (Оксфорд, АҚШ), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, философия докторы (PhD, фармацевт), Реддинг университетінің профессоры (Реддинг, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

ТЕЛТАЕВ Бағдат Бұрханбайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

ФАРУК Асана Дар, Хамдар аль-Маджида Шығыс медицина колледжінің профессоры, Хамдард университетінің Шығыс медицина факультеті (Карачи, Пәкістан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

ФАЗЫЛОВ Серік Драхметұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Органикалық синтез және көмір химиясы институты директорының ғылыми жұмыстар жөніндегі орынбасары (Қарағанды, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробекқызы, химия ғылымдарының докторы, профессор, Қырғызстан ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА Химия және химиялық технология институты (Бішкек, Қырғызстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

ХАЛИКОВ Джурабай Халикович, химия ғылымдарының докторы, профессор, Тәжікстан ҒА академигі, В.И. Никитин атындағы Химия институты (Душанбе, Тәжікстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджидоглы, химия ғылымдарының докторы, профессор, АҰҒА академигі (Баку, Әзірбайжан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

ГАРЕЛИК Хемда, философия докторы (PhD, химия), Халықаралық таза және қолданбалы химия одағының Химия және қоршаған орта бөлімінің президенті (Лондон, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ23VPY00121156, выданное 05.06.2025 г.

Тематическая направленность: *органическая химия, неорганическая химия, катализ, электрохимия и коррозия, фармацевтическая химия и технологии.*

Периодичность: 4 раз в год.

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arithv>

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

Главный редактор:

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

Редакционная коллегия:

АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович (заместитель главного редактора), 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>

АГАБЕКОВ Владимир Енокович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН Беларуси, почетный директор Института химии новых материалов (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

СТРНАД Мирослав, профессор, заведующий лабораторией института Экспериментальной ботаники Чешской академии наук (Оломоуц, Чехия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

БУРКИТБАЕВ Мухамбеткали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

ХОХМАНН Джудит, заведующий кафедрой Фармакогнозии Фармацевтического факультета Университета Сегеда, директор Междисциплинарного центра естественных наук (Сегед, Венгрия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

РОСС Самир, PhD, профессор Школы Фармации национального центра научных исследований растительных продуктов Университета Миссисипи (Оксфорд, США), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, доктор философии (Ph.D, фармацевт), профессор Университета Рединга (Рединг, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

ТЕЛЫТАЕВ Багдат Бурханбайулы, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Министерство Индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

ФАРУК Ахсана Дар, профессор колледжа Восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет Восточной медицины университета Хамдарда (Карачи, Пакистан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

ФАЗЫЛОВ Серик Драгметович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, заместитель директора по научной работе Института органического синтеза и углехимии (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробековна, доктор химических наук, профессор, академик НАН Кыргызстана, Институт химии и химической технологии НАН КР (Бишкек, Кыргызстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

ХАЛИКОВ Джурабай Халикович, доктор химических наук, профессор, академик АН Таджикистана, Институт химии имени В.И. Никитина АН РТ (Душанбе, Таджикистан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджид оглы, доктор химических наук, профессор, академик НАНА (Баку, Азербайджан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

ГАРЕЛИК Хемда, доктор философии (Ph.D, химия), президент Отдела химии и окружающей среды Международного союза чистой и прикладной химии (Лондон, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY»

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 05.06.2025 ж. берілген № KZ23VPY00121156 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *органикалық химия, бейорганикалық химия, катализ, электрохимия және коррозия, фармацевтикалық химия және технологиялар.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2026

CONTENTS

Abdugalimov A.Sh., Jalmakhanbetova R.I., Mukusheva G.K. Atomistic insight into solvent effects on the chemical structure of betulonic acid.....	11
Assembayeva E.K., Shadi D.K., Nurmukhanbetova D.E., Bozhbanov A.Zh., Gabdullina E.Zh. Effect of inulin on the quality characteristics of a fermented cheese whey-based beverage	25
Asylbekova D.D., Toktibayeva Kh.R., Kaldybayeva A.R., Zhurkhabayeva L., Tukibayeva A.S. Electrochemical behavior of phosphorous acid on a platinum electrode and its galvanostatic anodic oxidation using a lead anode	39
Auyeshov A.P., Yeskibayeva Ch.Z., Ibrayeva A.M., Alzhanov K.B., Dzholdasova E.M. Investigation of the adsorption characteristics of silica obtained from serpentinite by a combined acid–alkali method	58
Galymzhan A., Kozhabekov S., Kuanyshev A., Sansyzbay N., Abdrasilova A. Effect of octadecyl methacrylate–maleic anhydride copolymer composition on crude oil rheological properties	78
Darmenbayeva A.S., Rajasekharan R. Investigation of the structural properties of nanocellulose membranes derived from agricultural waste	95
Dmitriyeva E.A., Medvedev A., Kemelbekova A. Development of a low-temperature gas sensor based on SnO ₂ thin films and a precision measurement system for high-resistance detection	109
Dzheldybaeva I.M., Kairbekov Zh., Esenalieva M.Z., Dossumova B.T., Suimbaeva S.M. Influence of ultrasonic treatment on the structure and physicochemical properties of brown coal humic acids	125
Jumadilov T.K., Khimersen Kh., Imangazy A. Features of heavy metal ion sorption by interpolymer systems formed from homogeneous polyelectrolytes	140
Zhylyzbek M., Orazbekova R.S., Yerkibaeva M.K., Aidarova A.O., Baizhumanova T.S. Co–Mg oxide catalysts for deep oxidation of methane: synthesis, structure, and catalytic activity.....	154
Imangaliyeva B., Rakhmetova G., Dossanova B., Sovet N. Technology of biological fertilizer production by hydrolysis treatment of polymer waste.....	169
Karar M.E., Beisenbayev O.K., Alibekov R.S., Shamsudin R. Starch extraction from Baidaly rice and Gala potatoes for application in biodegradable materials.....	186
Kudaibergenova G.N., Azimbayeva G.E., Kamysbayeva A.K., Izteleu B.M., Kurbanbayeva N.M. Fatty acid composition of <i>Helianthus tuberosus</i> flowers	204
Massenova A.T., Sass A.S., Torlopov I.I., Rakhmetova K.S., Malgazhdarova M.K. Tuning of surface acidity in Zn–Me-modified shaped ZSM-5–Al ₂ O ₃ alkylation catalysts.....	219
Nurislamov R.M., Nefedov A.N., Beissenbayev D.K., Leontyeva X.A., Imashev B.K. Effect of oxide films on the corrosion resistance of iron: modeling in COMSOL Multiphysics 6.2.....	238

Nurlybayev O., Kudaibergenova R., Taubayeva R., Bekaulova A., Seitmanbetova A. Textural properties of bentonite–sawdust carbon composites after metal-chloride-assisted carbonization.....	250
Puzikova D.S., Bessonova G.V., Kenzin N.R., Zhurinov M.Zh., Torlopov I.I. Modeling cavitation of oil-containing media in various hydrodynamic configurations.....	263
Rakhimov A., Zhanikulov N., Taimasov B., Potapova E., Sarsenbaev B. Calculation of the raw material composition for cement clinker with the addition of lead slag processing waste.....	285
Ryskalieva D., Baibulanova A., Yessenamanova M., Mustafina A., Samat A. Hydrogen sulfide pollution in the atmosphere of an industrial city: the potential role of evaporation fields (Atyrau, Kazakhstan)	299
Serikbayeva K.T., Chalov T.K., Sadykov K.A. Rubidium sorption from aqueous solutions by VEMEA–AGE–PEI anion exchangers.....	322
Seitkazinova A.R., Nazhipkyzy M., Yeleuov M.A., Zhaparov A.A., Kalybayeva A.K. Orange peel-derived porous activated carbon	334
Samadun A.I., Taussarova B.R., Asrakulova D.I., Nurmukhanbetova D.E. Biodegradable packaging films with copper nanoparticles: effect of NaBH ₄ concentration on morphology and antifungal properties	351
Khamitova T.O., Tyanakh S., Bolatbay A.N., Ma Fengyun, Aitbekova D.E. Linking geological genesis to the molecular and optical traits of humic acids from coal wastes.....	370
Talgatov E., Zamanbekova A., Abilmagzhanov A., Auyezkhanova A., Akhmetova S. Polymer-modified supported catalysts for the oxidation of cyclohexane with hydrogen peroxide.....	389

МАЗМҰНЫ

Абдугалимов А.Ш., Джалмаханбетова Р.И., Мукушева Г.К.

Бетулон қышқылының химиялық құрылымына еріткіштер әсерін атомистикалық тұрғыдан зерттеу11

Асембаева Э.К., Шәді Д.Қ., Нурмуханбетова Д.Е., Божбанов А.Ж., Габдуллина Е.Ж.

Инулиннің ірімшік сарысуы негізіндегі ашытылған сусынның сапа көрсеткіштеріне әсері.....25

Асылбекова Д.Д., Токтыбаева Х.Р., Қалдыбаева А.Р., Журхабаева Л., Түкібаева А.С.

Фосфорлы қышқылдың платина электродындағы электрохимиялық қасиеттері және оны қорғасын анодын қолданып гальваностатикалық анодты тотықтыру.....39

Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Джолдасова Э.М.

Қышқылды-сілтілі комбинациялық әдіспен серпентиниттен алынған кремнеземнің адсорбциялық сипаттамаларын зерттеу58

Ғалымжан А., Қожабеков С., Қуанышев А., Сансызбай Н., Абдрасилова А.

Октадецилметакрилат пен малеин ангидридi сополимерлері құрамының мұнайдың реологиялық қасиеттеріне әсері78

Дарменбаева А.С., Rajasekharan R. Агроқалдықтардан алынған наноцеллюлозалы

мембраналардың құрылымдық қасиеттерін зерттеу.....95

Дмитриева Е.А., Медведев А., Кемелбекова А.

SnO₂ жұқа қабықшалары негізіндегі төмен температуралы газ сенсорын және жоғары кедергілерді тіркеуге арналған прецизионды өлшеу жүйесін әзірлеу.....109

Джелдыбаева И.М., Қайырбеков Ж., Есеналиева М.З., Досумова Б.Т., Суймбаева С.М.

Ультрадыбыстық өңдеудің қоңыр көмір гумин қышқылдарының құрылымы мен физика-химиялық қасиеттеріне әсері.....125

Джумадилов Т.К., Химэрсэн Х., Иманғазы А.

Біртекті полиэлектролиттерден құрылған интерполимерлік жүйелердің ауыр металл иондарын сорбциялау ерекшеліктері.....140

Жылқыбек М., Оразбекова Р.С., Еркибаева М.К., Айдарова А.О., Байжұманова Т.С.

Метанды терең тотықтыруға арналған Co–Mg оксидті катализаторлар: синтезі, құрылымы және каталитикалық белсенділігі.....154

Иманғалиева Б., Рахметова Г., Досанова Б., Совет Н.

Полимер қалдықтарын гидролиздік өңдеу арқылы биологиялық тыңайтқыш алу технологиясы.....169

Қарар М.Е., Бейсенбаев О.К., Алибеков Р.С., Роснах Шамсудин.

Байдалы күрішпен және Гала сортты картоптан крахмал алу және оны биоыдырайтын материалдарда қолдану.....186

Құдайбергенова Г.Н., Азимбаева Г.Е., Камысбаева А.К., Ізтелеу Б.М., Құрбанбаева Н.М.

Топинамбур гүлдерінің май қышқылдық құрамы204

Масенова А.Т., Сасс А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Малгаждарова М.К. Zn–Me-модификацияланған қалыпталған ZSM-5–Al ₂ O ₃ алкилдеу катализаторларының беттік қышқылдығын реттеу.....	219
Нурисламов Р.М., Нефедов А.Н., Бейсенбаев Д.К., Леонтьева К.А., Имашев Б.К. Темірдің коррозияға төзімділігіне оксидтік қабықшалардың әсері: COMSOL Multiphysics 6.2 бағдарламасында модельдеу.....	238
Нурлыбаев О., Кудайбергенова Р., Таубаева Р., Бекаулова А., Сейтманбетова А. Металл хлоридтері қатысында карбонизацияланған бентонит–ағаш үгіндісі көміртекті композиттерінің текстуралық қасиеттері.....	250
Пузикова Д.С., Бессонова Г.В., Кензин Н.Р., Жұрынов М.Ж., Торлопов И.И. Өртүрлі гидродинамикалық конструкциялардағы мұнай құрамды орталардың кавитация процесін модельдеу	263
Рахимов А., Жаникулов Н., Таймасов Б., Потапова Е., Сәрсенбаев Б. Қорғасын қожын өндеу қалдықтары қосылған цемент клинкерінің шикізат шихтасының құрамын есептеу	285
Серікбаева К.Т., Чалов Т.К., Садықов К.А. Сулы ерітінділерден рубидийді ВЭМЭА–АГЭ–ПЭИ аниониттерімен сорбциялау.....	299
Сейтказинова А.Р., Нажипқызы М., Елеуов М.А., Жапаров А.А., Қалыбаева А.Қ. Апельсин қабығынан алынған кеуекті белсендірілген көмір.....	322
Самадун А.И., Таусарова Б.Р., Асракулова Д.И., Нурмұханбетова Д.Е. Мыс нанобөлшектері бар биоыдырайтын қаптамалық үлдірлер: NaBH ₄ концентрациясының морфологияға және саңырауқұлаққа қарсы қасиеттеріне әсері.....	334
Хамитова Т.О., Тянах С., Болатбай А.Н., Ма Фэньюнь, Айтбекова Д.Е. Көмір қалдықтарынан бөлінген гумин қышқылдарының геологиялық генезисі мен молекулалық және оптикалық қасиеттерінің байланысы	351
Рысқалиева Д.К., Байбуланова А.А., Есенаманова М.С., Мұстафина А.Ж., Самат А.С. Өнеркәсіптік қала атмосферасының күкіртсутекпен ластануы: булану алаңдарының ықтимал рөлі (Атырау, Қазақстан)	370
Талғатов Э.Т., Заманбекова А.Т., Абильмагжанов А.З., Әуезханова А.С., Ахметова С.Н. Циклогександы сутек пероксидімен тотықтыруға арналған полимермен модификацияланған тасымалдағышқа бекітілген катализаторлар	389

СОДЕРЖАНИЕ

Абдугалимов А.Ш., Джалмаханбетова Р.И., Мукушева Г.К. Атомистическое исследование влияния растворителей на химическую структуру бетулоновой кислоты.....	11
Асембаева Э.К., Шади Д.К., Нурмуханбетова Д.Е., Божбанов А.Ж., Габдуллина Е.Ж. Влияние инулина на показатели качества ферментированного напитка на основе сырной сыворотки	25
Асылбекова Д.Д., Токтибаева Х.Р., Калдыбаева А.Р., Журхабаева Л., Тукибаева А.С. Электрохимическое поведение фосфористой кислоты на платиновом электроде и её гальваностатическое анодное окисление с использованием свинцового анода.....	39
Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Джолдасова Э.М. Исследование адсорбционных характеристик кремнезёма, полученного из серпентинита комбинированным кислотно-щелочным методом	58
Галымжан А., Кожабеков С., Куанышев А., Сансызбай Н., Абдрасилова А. Влияние состава сополимеров октадецилметакрилата и малеинового ангидрида на реологические свойства нефти	78
Дарменбаева А.С., Rajasekharan R. Исследование структурных свойств наноцеллюлозных мембран, полученных из агроотходов.....	95
Дмитриева Е.А., Медведев А., Кемелбекова А. Разработка низкотемпературного газового сенсора на основе тонких плёнок SnO ₂ и прецизионной измерительной системы для регистрации высокоомных сопротивлений.....	109
Джелдыбаева И.М., Каирбеков Ж., Есеналиева М.З., Досумова Б.Т., Суймбаева С.М. Влияние ультразвуковой обработки на структуру и физико-химические свойства гуминовых кислот бурого угля	125
Джумадилов Т.К., Химэрсэн Х., Имангазы А. Особенности сорбции ионов тяжёлых металлов интерполимерными системами, сформированными из однородных полиэлектролитов.....	140
Жылкыбек М., Оразбекова Р.С., Еркибаева М.К., Айдарова А.О., Байжуманова Т.С. Co–Mg оксидные катализаторы для глубокого окисления метана: синтез, структура и каталитическая активность	154
Имангалиева Б., Рахметова Г., Досанова Б., Совет Н. Технология получения биологического удобрения путём гидролизной обработки полимерных отходов	169
Карар М.Е., Бейсенбаев О.К., Алибеков Р.С., Роснах Шамсудин. Получение крахмала из риса «Байдалы» и картофеля сорта «Гала» и его применение в биоразлагаемых материалах	186
Кудайбергенова Г.Н., Азимбаева Г.Е., Камысбаева А.К., Изтелеу Б.М., Курбанбаева Н.М. Жирнокислотный состав цветков топинамбура	204

Масенова А.Т., Сасс А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Малгаждарова М.К. Регулирование поверхностной кислотности Zn–Me-модифицированных формованных ZSM-5–Al ₂ O ₃ катализаторов алкилирования	219
Нурисламов Р.М., Нефедов А.Н., Бейсенбаев Д.К., Леонтьева К.А., Имашев Б.К. Влияние оксидных плёнок на коррозионную стойкость железа: моделирование в COMSOL Multiphysics 6.2	238
Нурлыбаев О., Кудайбергенова Р., Таубаева Р., Бекаулова А., Сейтманбетова А. Текстурные свойства бентонит–углеродных композитов после карбонизации в присутствии хлоридов металлов	250
Пузикова Д.С., Бессонова Г.В., Кензин Н.Р., Журинов М.Ж., Торлопов И.И. Моделирование процесса кавитации нефтесодержащих сред в различных гидродинамических конструкциях.....	263
Рахимов А., Жаникулов Н., Таймасов Б., Потапова Е., Сарсенбаев Б. Расчёт состава сырьевой шихты для цементного клинкера с добавлением отходов переработки свинцового шлака	285
Серикбаева К.Т., Чалов Т.К., Садыков К.А. Сорбция рубидия из водных растворов анионитами ВЭМЭА–АГЭ–ПЭИ.....	299
Сейтказинова А.Р., Нажипкызы М., Елеуов М.А., Жапаров А.А., Калыбаева А.К. Пористый активированный углерод, полученный из апельсиновой кожуры.....	322
Самадун А.И., Таусарова Б.Р., Асракулова Д.И., Нурмуханбетова Д.Е. Биоразлагаемые упаковочные плёнки с наночастицами меди: влияние концентрации NaBH ₄ на морфологию и антигрибковые свойства	334
Хамитова Т.О., Тянах С., Болатбай А.Н., Ма Фэньюнь, Айтбекова Д.Е. Связь геологического генезиса с молекулярными и оптическими характеристиками гуминовых кислот из угольных отходов	351
Рыскалиева Д.К., Байбуланова А.А., Есенаманова М.С., Мустафина А.Ж., Самат А.С. Загрязнение атмосферы промышленного города сероводородом: потенциальная роль полей испарения (Атырау, Казахстан)	370
Талгатов Э.Т., Заманбекова А.Т., Абильмагжанов А.З., Ауезханова А.С., Ахметова С.Н. Полимер-модифицированные нанесённые катализаторы окисления циклогексана пероксидом водорода	389

© **Nurislamov R.M., Nefedov A.N., Beissenbayev D.K.*, Leontyeva X.A.,
Imashev B.K., 2026.**

JCS «D.V. Sokolsky Institute of Fuel Catalysis and Electrochemistry»,
Almaty, Kazakhstan.

E-mail: beidaur-81@mail.ru

EFFECT OF OXIDE FILMS ON THE CORROSION RESISTANCE OF IRON: MODELING IN COMSOL MULTIPHYSICS 6.2

Nurislamov Ruslan — Lead Engineer, Modeling Department of Competence Center of Corrosion Problems, JSC «D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry», Almaty, Kazakhstan, E-mail: r.nurislamov@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1771-9172>;

Nefedov Alexander — Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher, 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>;

Beysenbayev Dauren — Head of Certification Department of Competence Center of Corrosion Problems, JSC «D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry», Almaty, Kazakhstan, E-mail: beidaur-81@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3783-9832>;

Leontyeva Xeniya — M.D., junior researcher, laboratory of electrochemistry and Nanotechnological processes, JSC «D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry», Almaty, Kazakhstan, E-mail: x.leontyeva@ifce.kz, leontyeva.xeniya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4740-1720>;

Imashev Bauyrzhan — Master's degree of Satbayev University, Head of Competence Center of Corrosion Problems, JSC «D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry», Almaty, Kazakhstan, E-mail: b.imashev@ifce.kz, <https://orcid.org/0009-0002-8452-8584>.

Abstract. The effect of oxide films on the corrosion resistance of iron in the presence of chloride ions was investigated. A two-layer model was developed to describe the growth and degradation of protective oxide films, accounting for the formation of an inner Fe_3O_4 layer and an outer Fe_2O_3 layer, as well as their dissolution in an aggressive environment. The inner Fe_3O_4 layer was considered a barrier layer, while the outer Fe_2O_3 layer was assumed to limit the penetration of chloride ions toward the inner layer. The model accounts for the competition between oxide-film growth and dissolution, the decrease in film growth rate with increasing thickness, and the effect of chloride-ion concentration on oxide dissolution. To describe the barrier effect of the outer Fe_2O_3 layer, an exponential decrease in chloride-ion concentration during penetration toward the interface between the oxide layers was assumed. The corrosion rate was determined using a phenomenological relationship based on the total oxide-layer thickness. The

model was implemented in COMSOL Multiphysics 6.2. Numerical simulations were performed to investigate oxide-film growth and changes in the corrosion rate of iron at Cl^- concentrations of 0, 0.001, and 0.02 M. The results demonstrate that, in the absence of chloride ions, the oxide film undergoes continuous growth, accompanied by a gradual decrease in corrosion rate and the formation of a stable passive state. At a Cl^- concentration of 0.001 M, oxide-film growth is maintained; however, dissolution becomes more pronounced, particularly in the outer Fe_2O_3 layer, resulting in reduced protective efficiency. At 0.02 M, oxide-layer growth is substantially suppressed, while degradation becomes more pronounced, accompanied by a higher corrosion rate. Comparison with published numerical models showed qualitative agreement in the main corrosion trends. The results confirm the critical role of the outer oxide layer in limiting chloride-ion transport and provide a basis for assessing passive-film degradation and predicting the corrosion resistance of iron-containing materials in chloride-containing environments.

Keywords: corrosion, oxide films, passivation, COMSOL Multiphysics

Acknowledgments

This research was funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR24992812 Development of materials and technologies aimed at comprehensive anticorrosion protection of process equipment in the petrochemical, machine and instrument-making industries).

For citations: Nurislamov R.M., Nefedov A.N., Beissenbayev D.K., Leontyeva X.A., Imashev B.K. Effect of oxide films on the corrosion resistance of iron: modeling in COMSOL Multiphysics 6.2. Academic Scientific Journal of Chemistry, 2026. — No. 3. — P. 238–249. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1491.398>.

© Нурисламов Р.М., Нефедов А.Н., Бейсенбаев Д.К.*, Леонтьева К.А.,
Имашев Б.К., 2026.

«Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия
институты» АҚ, Алматы, Қазақстан.
E-mail: beidaur-81@mail.ru

ТЕМІРДІҢ КОРРОЗИЯҒА ТӨЗІМДІЛІГІНЕ ОКСИДТІК ҚАБЫҚШАЛАРДЫҢ ӘСЕРІ: COMSOL MULTIPHYSICS 6.2 БАҒДАРЛАМАСЫНДАҒЫ МОДЕЛЬДЕУ

Нурисламов Руслан — жетекші инженер, Коррозия мәселелері құзыреттілік орталығының модельдеу бөлімі, «Д.В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: r.nurislamov@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1771-9172>;

Нефедов Александр — химия ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, «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>;

Бейсенбаев Дәурен — Коррозия мәселелері құзыреттілік орталығының сертификаттау бөлімінің басшысы, «Д.В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: beidaur-81@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3783-9832>;

Леонтьева Ксения — кіші ғылыми қызметкер, Электрохимия және нанотехнологиялық процестер зертханасы, «Д.В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: x.leontyeva@ifce.kz; leontyeva.xeniya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4740-1720>;

Имашев Бауыржан — Satbayev University магистрі, Коррозия мәселелері құзыреттілік орталығының басшысы, «Д.В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: b.imashev@ifce.kz, <https://orcid.org/0009-0002-8452-8584>.

Аннотация. Хлорид-иондардың оксидтік қабықшалардың түзілуі мен тұрақтылығына, сондай-ақ темірдің бейтарап және әлсіз сілтілі орталардағы коррозиялық төзімділігіне әсері қарастырылды. Жұмыстың мақсаты – темір бетінде оксидтік қабаттардың өсуі мен еру процестерін сандық модельдеу және Cl^- концентрациясының қорғаныш қабықшасының қалыңдығына және коррозия жылдамдығына әсерін бағалау. Пассивтену процестерін сипаттау үшін Fe_3O_4 ішкі бөгеттік қабатынан және агрессивті ортамен жанасатын Fe_2O_3 сыртқы қабатынан тұратын екі қабатты модель қолданылды. Модель оксидтік қабаттардың өсуі мен еру процестерінің өзара бәсекелестігін, қабықша қалыңдығы артқан сайын оның өсу жылдамдығының баяулауын және хлорид-иондар концентрациясының еру жылдамдығына әсерін ескереді. Fe_2O_3 сыртқы қабатының бөгеттік әсерін есепке алу үшін Cl^- иондарының қабаттар шекарасына енуі кезінде олардың концентрациясының экспоненциалды түрде төмендеуі туралы модельдік болжам қабылданды. Коррозия жылдамдығы оксидтік қабаттардың жалпы қалыңдығына тәуелді феноменологиялық байланыс негізінде анықталды. Есептеулер COMSOL Multiphysics 6.2 бағдарламалық кешенінде үш жағдайда жүргізілді: хлорид-иондары болмаған кезде, Cl^- концентрациясы 0,001 М және 0,02 М болған жағдайларда. Хлоридсіз ортада оксидтік қабықшаның тұрақты түрде өсетіні анықталды, бұл коррозия жылдамдығының біртіндеп төмендеуімен және тұрақты пассивті күйдің қалыптасуымен қатар жүреді. Cl^- концентрациясы 0,001 М болғанда қабықшаның өсуі сақталғанымен, әсіресе Fe_2O_3 сыртқы қабатында еру процестерінің үлесі артып, оның қорғаныш тиімділігі төмендейді. Cl^- концентрациясы 0,02 М болғанда оксидтік қабаттардың өсуі айқын тежеліп, олардың деградациясы күшейеді және коррозия жылдамдығы артады. Жарияланған сандық модельдермен жүргізілген салыстыру негізгі заңдылықтардың сапалық тұрғыдан сәйкес келетінін көрсетті. Алынған нәтижелер сыртқы оксидтік қабаттың Cl^- иондарының тасымалын шектеудегі шешуші рөлін растайды және пассивті қабықшаның деградация дәрежесін, оның қорғаныш қасиеттерінің өзгеруін, сондай-ақ темірдің хлоридті ортадағы коррозиялық төзімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері хлоридті орталарда пайдаланылатын темір негізіндегі конструкциялық материалдардың коррозиялық тұрақтылығын болжау, қорғаныш қабаттардың тиімділігін бағалау және пайдалану жағдайларын оңтайландыру үшін қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: коррозия; оксидтік қабықшалар; пассивация; COMSOL Multiphysics

© Нурисламов Р. М., Нефедов А. Н., Бейсенбаев Д. К. *, Леонтьева К. А.,
Имашев Б. К., 2026.

АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского»,
Алматы, Казахстан.
E-mail: beidaur-81@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ЖЕЛЕЗА: МОДЕЛИРОВАНИЕ В COMSOL MULTIPHYSICS 6.2

Нурисламов Руслан — ведущий инженер отдела моделирования Центра компетенций по проблемам коррозии, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского», Алматы, Казахстан,
E-mail: r.nurislamov@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1771-9172>;

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

Бейсенбаев Даурен — заведующий отделом сертификации Центра компетенций по проблемам коррозии, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского», Алматы, Казахстан,
E-mail: beidaur-81@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3783-9832>;

Леонтьева Ксения — PhD, младший научный сотрудник лаборатории электрохимии и нанотехнологических процессов, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского», Алматы, Казахстан,
E-mail: x.leontyeva@ifce.kz, leontyeva.xeniya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4740-1720>;

Имашев Бауыржан — магистр Университета Сатпаев, заместитель руководителя Центра компетенций по проблемам коррозии, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского», Алматы, Казахстан,
E-mail: b.imashev@ifce.kz, <https://orcid.org/0009-0002-8452-8584>.

Аннотация. Рассмотрено влияние хлорид-ионов на формирование и устойчивость оксидных пленок, а также на коррозионную стойкость железа в нейтральной и слабощелочной средах. Целью работы является численное моделирование процессов роста и растворения оксидных слоев на поверхности железа, а также оценка влияния концентрации Cl^- на толщину защитной пленки и скорость коррозии. Для описания процессов пассивации использована двухслойная модель, включающая внутренний барьерный слой Fe_3O_4 и внешний слой Fe_2O_3 , контактирующий с агрессивной средой. Модель учитывает конкуренцию процессов роста и растворения оксидных слоев, замедление роста пленки по мере увеличения ее толщины, а также влияние концентрации хлорид-ионов на скорость растворения. Для учета барьерного действия внешнего слоя Fe_2O_3 принято модельное допущение об экспоненциальном снижении концентрации Cl^- при проникновении хлорид-ионов к границе между слоями. Скорость коррозии

определялась на основе феноменологической зависимости от суммарной толщины оксидных слоев. Расчеты выполнены в программном комплексе COMSOL Multiphysics 6.2 для трех условий: при отсутствии хлорид-ионов, а также при концентрациях Cl^- 0,001 М и 0,02 М. Установлено, что в бесхлоридной среде происходит устойчивый рост оксидной пленки, сопровождающийся постепенным снижением скорости коррозии и формированием устойчивого пассивного состояния. При концентрации Cl^- 0,001 М рост пленки сохраняется, однако возрастает роль процессов растворения, особенно во внешнем слое Fe_2O_3 , вследствие чего снижается защитная эффективность пленки. При концентрации Cl^- 0,02 М наблюдаются выраженное подавление роста и усиление деградации оксидных слоев, сопровождающиеся повышением скорости коррозии. Сопоставление полученных результатов с опубликованными численными моделями показало качественное соответствие основных закономерностей. Полученные результаты подтверждают определяющую роль внешнего оксидного слоя в ограничении переноса Cl^- и позволяют оценить степень деградации пассивной пленки, изменение ее защитных свойств, а также коррозионную стойкость железа в хлоридсодержащих средах.

Ключевые слова: коррозия; оксидные пленки; пассивация; COMSOL Multiphysics

Введение. Коррозия металлов остается одной из основных причин снижения надежности и долговечности промышленного оборудования и конструкционных материалов (Marcus et al., 2020). Одним из главных механизмов повышения коррозионной стойкости является формирование на поверхности металла оксидных пленок, способных выполнять барьерную функцию и замедлять анодное растворение (Marcus et al., 2020; Schmuki et al., 2002). Эффективность такой защиты определяется толщиной, составом, структурой и устойчивостью оксидного слоя, а также условиями среды (Marcus et al., 2020; Macdonald et al., 1992; Schmuki et al., 2002).

Литературный обзор. Для железа характерно образование пассивной оксидной пленки сложного состава; в рамках упрощенной двухслойной схемы ее можно представить как внутренний более плотный слой Fe_3O_4 и внешний менее плотный слой Fe_2O_3 (Schmuki et al., 2002; Qiu et al., 2015; Brossia et al., 1994). В отсутствие агрессивных анионов такая пленка может обеспечивать частичную или выраженную пассивацию поверхности (Schmuki et al., 2002; Qiu et al., 2015). Однако присутствие хлорид-ионов значительно снижает ее устойчивость, облегчает локальное разрушение пассивного состояния и способствует развитию питтинговой коррозии (Wagner et al., 1959; Frankel et al., 2018; Qiu et al., 2015). Для описания кинетики оксидообразования и пассивации применяются модели Мотта–Кабреры, Вагнера, сильного поля и точечных дефектов (Cabrerera et al., 1949; Macdonald et al., 1992; Wagner et al., 1959; Hoar et al., 1959). Для железа в нейтральных и слабощелочных средах удобным является кинетический подход, учитывающий замедление роста пленки по мере увеличения ее толщины, а

также ее возможное растворение в присутствии агрессивных компонентов среды (Macdonald et al., 1992; Hoar et al., 1959; Song et al., 2020). В настоящей работе этот подход дополнен учетом растворения пленки под действием хлорид-ионов (Qiu et al., 2015; Brossia et al., 1994; Song et al., 2020).

Цель работы — провести численное моделирование роста и растворения оксидных пленок на железе и оценить влияние концентрации Cl^- на толщину оксидных слоев и скорость коррозии (Qiu et al., 2015; Brossia et al., 1994; Song et al., 2020).

Материалы и основные методы.

На поверхности железа обычно формируются два основных оксидных слоя:

-внутренний слой Fe_3O_4 , прилегающий к металлу и обладающий более высокими барьерными свойствами;

-внешний слой Fe_2O_3 , контактирующий со средой и в большей степени подверженный растворению и дефектообразованию.

Для количественного описания динамики этих слоев использована система уравнений, учитывающая конкуренцию процессов роста и растворения:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= r_{\text{growth},1}(x_1) - r_{\text{diss},1}(x_1, [\text{Cl}^-], \dots) \\ \frac{dx_2}{dt} &= r_{\text{growth},2}(x_2, x_1) - r_{\text{diss},2}(x_2, [\text{Cl}^-], \dots)\end{aligned}$$

где x_1 и x_2 — толщины слоев Fe_3O_4 и Fe_2O_3 соответственно.

Скорости роста слоев задавались по экспоненциальному закону, характерному для модели сильного поля, а скорости растворения определялись концентрацией хлорид-ионов:

$$\begin{aligned}r_{\text{growth},1} &= k_{1,1} \exp\left(-\frac{\lambda_1 x_1}{kT}\right) \\ r_{\text{diss},1} &= k_{2,1} [\text{Cl}^-]^{n1} \\ r_{\text{growth},2} &= k_{1,2} \exp\left(-\frac{\lambda_2 x_2}{kT}\right) f(x_1) \\ r_{\text{diss},2} &= k_{2,2} [\text{Cl}^-]^{n2}\end{aligned}$$

Концентрация хлорид-ионов на границе внутреннего и внешнего слоев принималась равной, для учета барьерного действия внешнего слоя Fe_2O_3 в модели введена экспоненциальная аппроксимация проникновения хлорид-ионов:

$$[\text{Cl}^-]_{\text{int}} = [\text{Cl}^-]_{\text{bulk}} \exp(-\delta x_2),$$

что отражает барьерную функцию внешнего слоя Fe_2O_3 . Данная зависимость является модельным допущением настоящей работы.

Для количественной оценки влияния толщины оксидных слоев на коррозионную скорость в модели использована феноменологическая экспоненциальная зависимость. Скорость коррозии рассчитывалась как функция суммарной защитной способности оксидных слоев:

$$v_{corr} = v_0 \exp\left(-\frac{x_1}{\lambda_1} - \frac{x_2}{\lambda_2}\right)$$

где v_0 – базовая скорость коррозии.

Выражение использовано как модельная зависимость настоящего исследования.

Расчеты проведены в COMSOL Multiphysics 6.2. Исходные параметры модели приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные параметры модели

№	Параметр	Значение	Описание
1	$k_{1,1}$	1×10^{-11}	Рост Fe_3O_4 , м/с
2	$k_{1,2}$	5×10^{-10}	Рост Fe_2O_3 , м/с
3	$k_{2,1}$	4×10^{-10}	Растворение Fe_3O_4 , м/с
4	$k_{2,2}$	1×10^{-12}	Растворение Fe_2O_3 , м/с
5	n_1, n_2	1	Порядок по Cl^-
6	λ_1	3×10^{-9}	Характерная длина для Fe_3O_4 , м
7	λ_2	2×10^{-9}	Характерная длина для Fe_2O_3 , м
8	δ	2×10^{-8}	Длина проникновения Cl^- , м
9	v_0	1×10^{-8}	Базовая скорость коррозии, м/с
10	x_1^0	1×10^{-12}	Начальная толщина слоя Fe_3O_4 , м
11	x_2^0	5×10^{-11}	Начальная толщина слоя Fe_2O_3 , м

Моделирование проведено для трех случаев: без хлорид-ионов, при содержании Cl^- 0,001 М и 0,02 М.

Результаты

1. Отсутствие хлорид-ионов

В отсутствие хлорид-ионов наблюдается устойчивое увеличение толщины оксидной пленки во времени, при этом скорость роста постепенно уменьшается, что соответствует сильнополевому механизму формирования оксида. По мере увеличения толщины пленки снижается напряженность поля в оксидном слое, и рост замедляется.

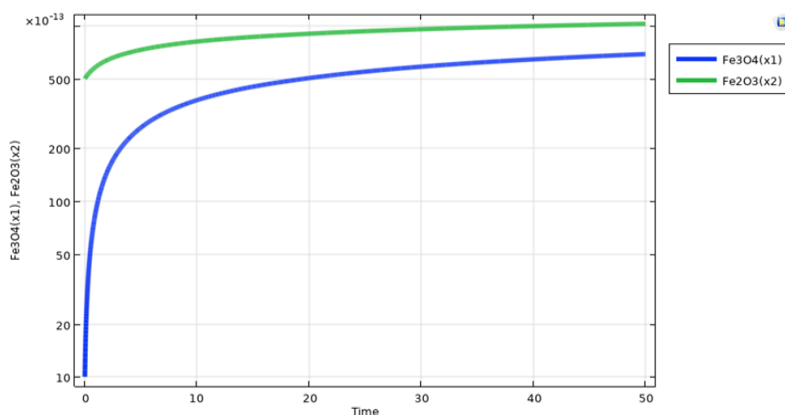


Рисунок 1 – Зависимость толщины оксидных пленок от времени в отсутствие хлорид-ионов.

Одновременно с этим скорость коррозии железа снижается. На начальном этапе поверхность еще недостаточно защищена, однако по мере формирования внутреннего и внешнего слоев оксидная система начинает выполнять барьерную функцию.

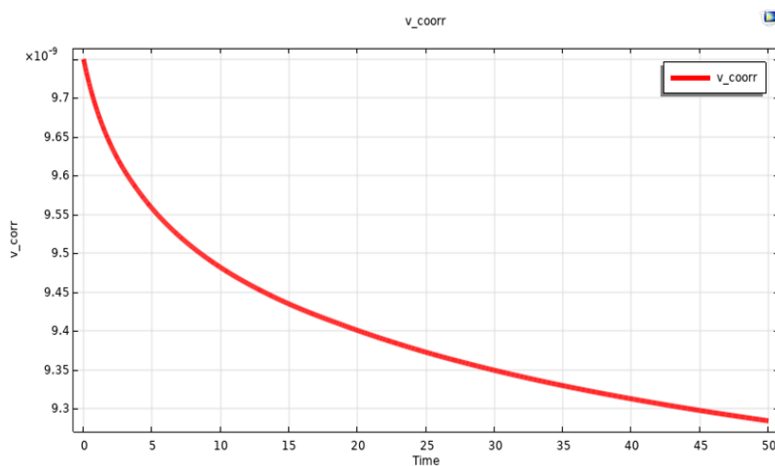


Рисунок 2 – Зависимость скорости коррозии железа от времени в отсутствии хлорид-ионов.

Таким образом, в безхлоридной среде железо переходит в состояние устойчивой пассивации.

2. Среда с 0,001 М хлорид-ионов

При концентрации $\text{Cl}^- = 0,001 \text{ М}$ рост оксидной пленки сохраняется, но ее толщина становится меньшей по сравнению со случаем в отсутствии хлорид ионов в растворе. Это указывает на возникновение конкуренции между ростом и растворением оксидных слоев.

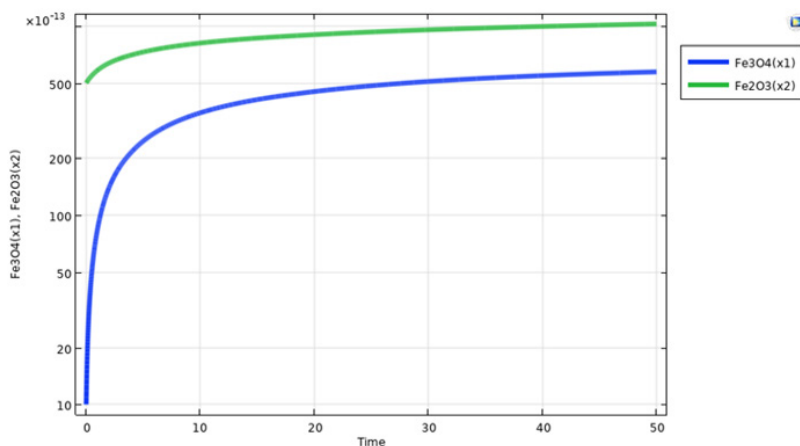


Рисунок 3 – Зависимость толщины оксидных пленок от времени в присутствии хлорид-ионов 0,001 М.

Наиболее чувствительным к действию среды оказывается внешний слой Fe₂O₃. Его частичное растворение ослабляет барьерный эффект и облегчает перенос хлорид-ионов к внутреннему слою Fe₃O₄. В результате защитное действие всей пленки снижается.

Это проявляется и в кинетике коррозии: скорость коррозии уменьшается во времени слабее, чем в отсутствии Cl⁻.

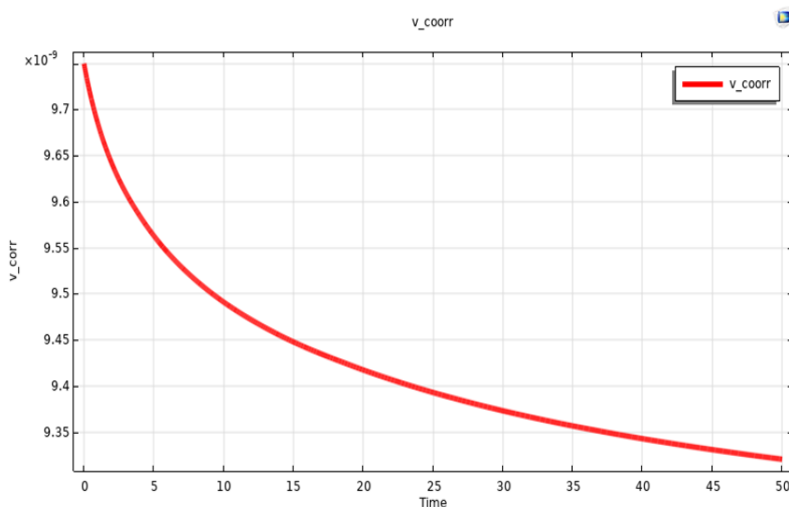


Рисунок 4 – Зависимость скорости коррозии железа от времени в присутствии хлорид-ионов 0,001 М.

Следовательно, при низкой концентрации хлорид-ионов пассивация еще сохраняется, но ее устойчивость уже заметно ухудшается.

3. Среда с 0,02 М хлорид-ионов

При увеличении концентрации хлорид-ионов до 0,02 М влияние агрессивной среды становится значительно более выраженным. Толщина оксидных слоев оказывается существенно меньше, чем в предыдущих случаях, а рост пленки подавляется.

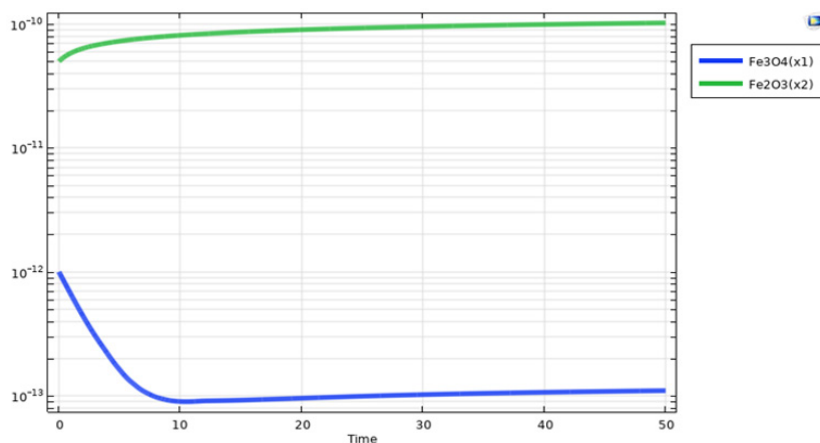


Рисунок 5 – Зависимость толщины оксидных пленок от времени в присутствии хлорид-ионов 0,02 М.

Это означает, что процессы растворения начинают преобладать над процессами роста. Внешний слой уже не способен эффективно ограничивать перенос Cl^- , вследствие чего ускоряется деградация внутреннего барьерного слоя.

Соответственно, скорость коррозии в данной среде остается значительно более высокой.

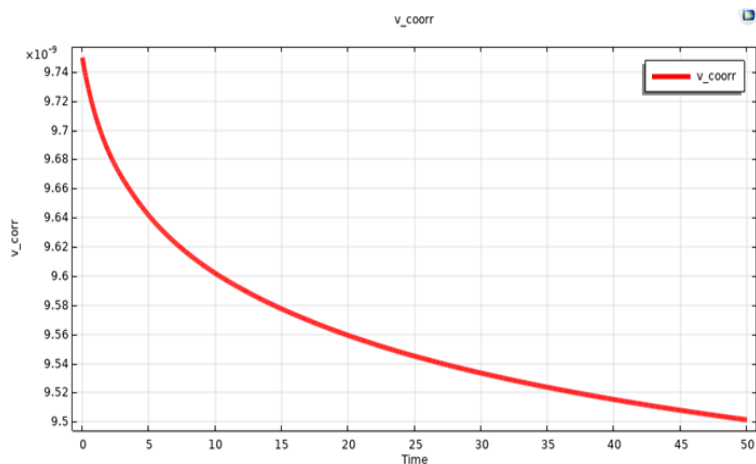


Рисунок 6 – Зависимость скорости коррозии железа от времени в присутствии хлорид-ионов 0,02 М.

Таким образом, при повышенной концентрации хлорид-ионов система переходит к состоянию ослабленной пассивации, близкому к депассивации.

4. Сравнительный анализ

Для верификации результатов проведено сопоставление с опубликованными численными исследованиями коррозионных процессов, включая модель питтинговой коррозии Ed Fontes в COMSOL Multiphysics® (2021) и модель роста пассивной оксидной пленки на железе Ingmar Bösing (2023). Получено качественное согласование основных закономерностей развития коррозионных процессов и электрохимического поведения железа.

Обсуждение

Сопоставление расчетных данных показывает, что хлорид-ионы влияют на коррозионную стойкость железа двояко: они непосредственно увеличивают скорость растворения оксидных слоев и одновременно уменьшают барьерную функцию внешнего слоя. В результате решающее значение имеет не только суммарная толщина оксидной пленки, но и состояние ее внешнего слоя, ограничивающего доступ агрессивных анионов к внутреннему слою и к границе металл–оксид.

Заключение

Разработана двухслойная модель роста и растворения оксидных пленок на железе, реализованная в COMSOL Multiphysics. Установлено, что:

1. в отсутствие хлорид-ионов происходит устойчивый рост оксидной пленки и снижение скорости коррозии;
2. при $\text{Cl}^- = 0,001 \text{ М}$ защитная способность пленки уменьшается, но пассивация еще сохраняется;
3. при $\text{Cl}^- = 0,02 \text{ М}$ растворение оксидных слоев существенно усиливается, что приводит к росту скорости коррозии;
4. внешний слой Fe_2O_3 играет ключевую роль в ограничении переноса хлорид-ионов к внутреннему слою Fe_3O_4 ;

Полученные результаты подтверждают возможность использования численного моделирования для прогноза коррозионного поведения железа в агрессивных средах и для оценки устойчивости пассивных оксидных пленок.

References

- Marcus P. (Ed.) (2020) Corrosion Mechanisms in Theory and Practice. 4th ed. CRC Press. (in Eng.).
- Cabrera N., Mott N.F. (1949) Theory of the oxidation of metals. Reports on Progress in Physics. — Vol. 12. — No. 1. — P. 163–184 (in Eng.).
- Macdonald D.D. (1992) The point defect model for the passive state. Journal of the Electrochemical Society. — Vol. 139. — No. 12. — P. 3434–3449 (in Eng.).
- Liu Y., Fu T., Guo Y., Guo Y., Wang R., Cao R., Li Z. (2025) Highly dispersed ZnZrO_x supported on silicalite-1 boost synergistic catalysis with HZSM-5 for benzene alkylation with CO_2/H_2 , Journal of Environmental Chemical Engineering, 13(3):116704. DOI: 10.1016.j.jece.2025.116704 (in Eng.).
- Wagner C. (1959) Theories of oxidation and corrosion. Corrosion Science. — Vol. 5. — No. 11. — P. 751–764 (in Eng.).
- Hoar T. P., Mott N. F. (1959) Oxide films on metals. Advances in Physics. — Vol. 8. — No. 29. — P. 343–382 (in Eng.).

Schmuki P. (2002) From Bacon to barriers: A review on the passivity of metals and alloys. *Journal of Solid State Electrochemistry*. — Vol. 6. — No. 3. — P. 145–164 (in Eng.).

Wang X., Yin Y., Li H., Fan S., Lv J., Zhao T. (2024) The effect of Ce promotor on catalytic performance of Zn.ZSM-5 in coaromatization of methanol and *n*-hexane, *Microporous and Mesoporous Materials*, 375:113158. DOI: 10.1016.j.micromeso.2024.113158 (in Eng.).

Frankel G.S. (2018) Pitting corrosion of metals: A review of the critical factors. *Journal of the Electrochemical Society*. — Vol. 165. — No. 9. — P. C533–C544 (in Eng.).

Qiu Y., Luo J. (2015) The passivity and breakdown of passive films on iron in sodium chloride solutions. *Corrosion Science*. — Vol. 90. — P. 463–470 (in Eng.).

Brossia C.S., Kelly R.G. (1994) A kinetic model for the growth and dissolution of passive films on iron. *Corrosion Science*. — Vol. 36. — No. 5. — P. 821–832 (in Eng.).

Song Y. et al. (2020) Modeling and simulation of passivation breakdown and pitting corrosion using COMSOL multiphysics. *Corrosion Reviews*. — Vol. 38. — No. 3. — P. 215–232 (in Eng.).

Fontes E. (2021) Modeling Pitting Corrosion in COMSOL Multiphysics® (Electronic resource). COMSOL Blog, July 13 (in Eng.).

Bösing I., et al. (2023) Modeling electrochemical oxide film growth — passive and transpassive behavior of iron electrodes in halide-free solution. *npj Materials Degradation*. — Vol. 7. — No. 1. DOI: 10.1038.s41529-023-00369-y (in Eng.).

Zhou H., Chhin D., Morel A., Gallant D., Mauzeroll J. (2022) Potentiodynamic polarization curves of AA7075 at high scan rates interpreted using the high field model. *npj Materials Degradation*. — Vol. 6. Article 20. DOI: 10.1038.s41529-022-00227-3 (in Eng.).

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

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

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the 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 National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the 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 National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

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

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

www.nauka-nanrk.kz

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

ISSN 2518-1491 (Online), ISSN 2224-5286 (Print)

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

Signed for print: September 23, 2026

Format: 70×90 1/16. 24.0 printed sheets. Order No. 3