

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF CHEMISTRY**

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

**№1
2026**

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



CENTRAL ASIAN ACADEMIC
RESEARCH CENTER



**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF CHEMISTRY**

1 (466)

JANUARY – MARCH 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>

ZHOROBKOVA 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 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/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 Еноквич (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 (Қарачи, 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/arihiv>

© 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 Еноквич (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 Драхметович, 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 № KZ23VPYU00121156 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

Chemistry

Assembayeva E. K., Beisekhan A., Bozhbanov A. Zh., Nurmukhanbetova D.E., Gabdullina E.Zh. Effect of chia seeds (<i>Salvia Hispanica</i> l.) on the physicochemical and mineral properties of low-fat cottage cheese.....	11
Balkhashbay Sh.Zh., Azimbayeva G.E., Kudaibergenova G.N., Kamysbayeva A.K., Kurbanbayeva N.M. Determination of biologically active compounds in morphological parts of medicinal plants.....	24
Darmenbayeva A.S., Rajasekharan R. Preparation and characterization of nanocellulose biocomposites from agro-waste of the Zhambyl region.....	39
Demets O.V., Rakhimberlinova Zh.B., Zgardan V.V., Serykh N.V., Dyussekeyeva A.T. Qualitative and quantitative analysis of amino acids in Kyrgyz birch bark extract.....	55
Jumekeyeva A.I., Talgatov E.T., Auyezkhanova A.S., Kenzheyeva A.M., Naizabayev A.A. Complex formation of palladium (II) ions with organic polymers of various nature.....	70
Dmitriyeva E.A. Electrolytes of lithium-ion batteries.....	83
Yegemberdiyeva S., Abdurazova P., Turtabaev S., Shitybaev S., Kerimbayeva K. Catalytic properties of Ru- and Rh-promoted skeletal nickel catalysts in the hydrogenation of butyraldehyde.....	97
Yertayeva A.B., Adylbekova A.O., Toleubekova A.G. Production of emulsions stabilized by bentonite clay particles.....	112
Fischer D., Jumadilov T., Haponiuk J., Toilanbay G., Baishibekov A. Interpolymer KU-2-8: AV-17-8 systems for selective sorption of rhenium, molybdenum and tungsten.....	129
Zhanikulov N., Zhurgarayeva D. Investigation of the quality of cement clinker obtained from heap leaching waste.....	148
Zhoshybaeva A.A., Kozhanova K.K., Mombekov S.E., Barakova A.Sh. Pharmaceutical development of a medicinal product containing an isocitrate lyase inhibitor.....	162
Ivanov N.S., Abilmagzhanov A.Z., Nurtazina A.E., Adelbayev I.E., Kholkin O.S. Sequential electrochemical processes for the treatment of magnesium leaching solutions.....	176

Imangaliyeva B., Duzelbayeva S., Tolesinova I., Bukeykhan D., Turlanova A. Chemical and agronomic assessment of the use of mineral wool and coconut fiber as a substrate in a greenhouse.....	190
Kurmanaliev M.K., Shaikhova Zh.E., Abilkasova S.O., Kalimoldina L.M., Bugubaeva G.O. Crown esters immobilized on polymeric supports as novel interfacial catalysts.....	207
Mataev M.M., Ongarbek A.T., Sarsenbayeva Z.B., Nurbekova M.A., Abdraimova M.R. Synthesis and morphology of perovskite-structured $\text{CaMnO}_{2.98}$	221
Medeuova G.Zh., Azimbayeva G.E., Kaliyeva A.N.*, Sadykova D.A., Anuarova L.E. Determination of vitamins in <i>Polygonum Aviculare</i> L. using capillary electrophoresis.....	238
Mukusheva G.K., Jalmakhanbetova R.I., Seilkhanov T.M., Bakibaev A.A., Aliyeva M.R. Functional modification reactions at the nitrogen atom of salsolin and biological activity of the obtained derivatives.....	251
Muldakhmetov Z.M., Zhakina A.Kh., Arnt O.V., Vassilets Ye.P., Zhakin A.M. Composite materials modified with carbon filler.....	267
Nazarbek U., Raiymbekov Y., Abdurazova P., Kambarova G. Study on the efficiency of water treatment using nanostructured water.....	280
Nauanova A.P., Kassenov R.Z., Davrenbekov S.Zh., Bolatbay A.N., Altynbekkyzy A. Intensification of the process of extraction of humic substances from brown coal.....	295
Nurlybayeva A.N., Zharlykapova R.B., Taubaeva R.S., Matniyazova G.K., Rustem E.I. Study of physical, chemical and mechanical properties of acrylic terpolymer.....	309
Uali A., Omirzak U., Titanov A., Abilkanova F., Kunarbekova M. Waste biomass-derived Fe-modified biochar: structure and application in potentiometric analysis.....	323
Khamitova A.S., Nurmukhanbetova N.N., Ostretsova I.B., Kassenova N.B., Kuderina B.T. Synthesis of metal corrosion inhibitors based on ammonia.....	338

МАЗМҰНЫ

ХИМИЯ

Асембаева Э.К., Бейсехан А., Божбанов А.Ж., Чиа дәндерінің (<i>Salvia Hispanica L.</i>) майсыздандырылған сүзбенің физика-химиялық және минералдық көрсеткіштеріне әсері.....	11
Балқашбай Ш.Ж., Азимбаева Г.Е., Қудайбергенова Г.Н., Қамысбаева А.К., Қурбанбаева М. Дәрілік өсімдіктердің морфологиялық мүшелеріндегі биологиялық белсенді заттарды анықтау.....	24
Дарменбаева А.С., Rajasekharan R. Жамбыл облысының агрокалдықты негізінде наноцеллюлозалық биокомпозиттерді алу және олардың қасиеттерін зерттеу.....	39
Демец О.В., Рахимберлинова Ж.Б., Згардан В.В.*, Серых Н.В., Дюсекеева А.Т., 2026. Қырғыз қайың қабығының сығындысындағы аминқышқылдарының сапалық және сандық құрамын талдау.....	55
Джумекеева А.И., Талғатов Э.Т., Ауезханова А.С., Кенжеева А.М., Найзабаев А.А. Палладий (II) иондарының табиғаты әртүрлі органикалық полимерлермен кешен түзуі.....	70
Дмитриева Е.А. Литий-ионды аккумуляторлардың электролиттері.....	83
Егембердиева С.Ж., Абдуразова П., Туртабаев С.К., Шитыбаев С.А., Керимбаева К.З. Ru және Rh промоторланған қаңқалы никель катализаторларының май альдегидін гидрлеу реакциясындағы каталитикалық қасиеттері.....	97
Ертаева А.Б., Адильбекова А.О., Төлеубекова А.Ғ. Бентонит сазының бөлшектерімен тұрақтандырылған эмульсияларды алу.....	112
Фишер Д., Джумадилов Т., Хапонюк Ю., Тойланбай Г., Байшибеков А. Рений, молибден және вольфрамды селективті сорбциялауға арналған KU-2-8:AV-17-8 интерполимерлі жүйелері.....	129
Жаникулов Н., Жургараева Д. Үйінді шаймалау қалдықтарынан алынған цемент клинкерінің сапасын зерттеу.....	148
Жошыбаева А.А., Кожанова К.К., Момбеков С.Е., Баракова А.Ш. Изоцитратлиаза ингибиторын қамтитын дәрілік препаратты фармацевтикалық әзірлеу.....	162

- Иванов Н.С., Абильмагжанов А.З., Нұртазина А.Е., Адельбаев И.Е., Холкин О.С.**
Магнийді шаймалау ерітінділерін қайта өңдеу технологиясындағы дәйекті
электрхимиялық процестер.....176
- Имангалиева Б., Дүзелбаева С., Төлесінова И., Букейхан Д., Тұрланова А.,**
Жылыжайда минералды жүн мен кокос талшығын субстарт ретінде қолданудың
химия-агрономиялық бағасы.....190
- Құрманалиев М.Қ., Шанхова Ж.Е., Әбілқасова С.О., Калимолдина Л.М.,**
Бугубаева Г.О.
Полимерлік тасымалдаушыларда иммобилизацияланған краун-эфирлер —
жаңа фазааралық катализаторлар ретінде.....207
- Матаев М.М., Оңғарбек А.Т., Сарсенбаева З.Б., Нурбекова М.А., Абдраимова М.Р.**
Перовскит құрылымды $\text{CaMnO}_{2.98}$ синтезі мен морфологиясы.....221
- Медеуова Г.Дж., Азимбаева Г.Е., Калиева А.Н., Садыкова Д.А., Ануарова Л.Е.**
Polygonum Aviculare L. өсімдігінің құрамындағы дәрумендерді капиллярлы
электрофорез әдісімен анықтау.....238
- Мукушева Г.К., Джалмаханбетова Р.И., Сейлханов Т.М., Бакибаев А.А., Алиева М.Р.**
Сольсолиннің азот атомы бойынша функционалдық модификация реакциялары
және алынған туындылардың биологиялық белсенділігі.....251
- Мулдахметов З.М., Жакина А.Х., Арнт О.В., Василец Е.П., Жакин А.М.**
Көміртекті толтырғышпен модификацияланған композициялық материалдар.....267
- Назарбек У., Райымбеков Е., Абдуразова П., Қамбарова Ғ.**
Наноқұрылымданған суды қолдану арқылы суды тазарту тиімділігін зерттеу.....280
- Науанова А.П., Касенов Р.З., Давренбеков С.Ж., Болатбай А.Н., Алтынбекқызы Ә..**
Қоңыр көмірден гуминдік заттарды бөліп алу процесін қарқындету.....295
- Нурлыбаева А.Н., Жарлыкапова Р.Б., Таубаева Р.С., Матниязова Г.К., Рустем Е.І**
Акрил терполимердің физика-химиялық және механикалық қасиеттерін зерттеу.....309
- Уәли А., Өмірзақ Ұ., Титанов А., Абилканова Ф., Қунарбекова М.**
Қалдық биомассадан алынған темірмен түрлендірілген биокөмір: құрылымы
және потенциометриялық талдауда қолданылуы.....323
- Хамитова А.С., Нурмуханбетова Н.Н., Острцова И.Б., Касенова Н.Б., Кудерина Б.Т.**
Аммиак негізінде металдар коррозиясының ингибиторларын синтездеу.....338

СОДЕРЖАНИЕ

ХИМИЯ

Асембаева Э. К., Бейсехан А., Божбанов А.Ж., Нурмуханбетова Д.Е., Габдуллина Е.Ж. Влияние семян чиа (<i>Salvia Hispanica L.</i>) на физико-химические и минеральные показатели обезжиренного творога.....	11
Балкашбай Ш.Ж., Азимбаева Г.Е., Кудайбергенова Г.Н., Камысбаева А.К., Курбанбаева Н.М. Определение биологически активных веществ в морфологических органах лекарственных растений.....	24
Дарменбаева А.С., Rajasekharan R. Получение и свойства наноцеллюлозных биокмполитов на основе агроотходов Жамбылской области.....	39
Демец О.В., Рахимберлинова Ж.Б., Згардан В.В., Серых Н.В., Дюсекеева А.Т. Качественный и количественный анализ аминокислот в экстракте коры берёзы киргизской.....	55
Джумекеева А.И., Талгатов Э.Т., Ауезханова А.С., Кенжеева А.М., Найзабаев А.А. Комплексообразование ионов палладия (II) с органическими полимерами различной природы.....	70
Дмитриева Е.А. Электролиты литий-ионных аккумуляторов.....	83
Егембердиева С.Ж., Абдуразава П., Туртабаев С.К., Шитибаев С.А., Керимбаева К.З. Каталитические свойства скелетных никелевых катализаторов, промотированных Ru и Rh, в реакции гидрирования масляного альдегида.....	97
Ертаева А.Б., Адильбекова А.О., Төлеубекова А.Ғ. Получение эмульсий, стабилизированных частицами бентонитовой глины.....	112
Фишер Д., Джумадилов Т., Хапонюк Ю., Тойланбай Г., Байшибеков А. Интерполимерные системы KU-2-8:AV-17-8 для селективной сорбции рения, молибдена и вольфрама.....	129
Жаникулов Н., Жургараева Д. Исследование качества цементного клинкера, полученного из отходов кучного выщелачивания.....	148
Жошыбаева А.А., Кожанова К.К., Момбеков С.Е., Баракова А.Ш. Фармацевтическая разработка лекарственного препарата, содержащего ингибитор изоцитратлиазы.....	162

Иванов Н.С., Абильмагжанов А.З., Нуртазина А.Е., Адельбаев И.Е., Холкин О.С. Последовательные электрохимические процессы в технологии переработки растворов выщелачивания магния.....	176
Имангалиева Б., Дүзелбаева С., Төлесінова И., Букейхан Д., Турланова А. Химико-агрономическая оценка использования минеральной ваты и кокосового волокна в качестве субстрата в теплице.....	190
Курманалиев М.К., Шаихова Ж.Е., Абилкасова С.О., Калимолдина Л.М., Бугубаева Г.О. Краун-эфиры, иммобилизованные на полимерных носителях, как новые межфазные катализаторы.....	207
Матаев М.М., Онгарбек А.Т., Сарсенбаева З.Б., Нурбекова М.А., Абдраимова М.Р. Синтез и морфология перовскитной структуры $\text{CaMnO}_{2.98}$	221
Медсұова Г.Дж., Азимбаева Г.Е., Калиева А.Н., Садыкова Д.А., Ануарова Л.Е. Определение витаминов, содержащихся в растении <i>Polygonum aviculare L.</i> , методом капиллярного электрофореза.....	238
Мукушева Г.К., Джалмаханбетова Р.И., Сейлханов Т.М., Бакибаев А.А., Алиева М.Р. Реакции функциональной модификации хлорида аммония по атому азота и биологическая активность полученных производных.....	251
Мулдахметов З.М., Жакина А.Х., Арнт О.В., Василец Е.П., Жакин А.М. Композитные материалы, модифицированные углеродным наполнителем.....	267
Назарбек У., Райымбеков Е., Абдуразова П., Камбарова Г. Исследование эффективности очистки воды с применением наноструктурированной воды.....	280
Науанова А.П., Касенов Р.З., Давренбеков С.Ж., Болатбай А.Н., Алтынбекқызы А. Интенсификация процесса выделения гуминовых веществ из бурого угля.....	295
Нурлыбаева А.Н., Жарлыкапова Р.Б., Таубаева Р.С., Матниязова Г.К., Рустем Е.И. Изучение физико-химических и механических свойств акрилового терполимера.....	309
Уали А., Омирзак У., Титанов А., Абилканова Ф., Кунарбекова М. Биоуголь, модифицированный железом, из отходов биомассы: структура и применение в потенциометрическом анализе.....	323
Хамитова А.С., Нурмуханбетова Н.Н., Острцова И.Б., Касенова Н.Б., Кудерина Б.Т. Синтез ингибиторов коррозии металлов на основе аммиака.....	338

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY
ISSN 2224–5286
Volume 1.
Number 466 (2026), 97–111

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1491.343>

IRSTI 31.15.27
UDC 544.478.4

© **Yegemberdiyeva S., Abdurazova P.*, Turtabaev S., Shitybaev S., Kerimbayeva K., 2026.**

Zhanibekov University, Shymkent, Kazakhstan.

E-mail: abdurazova.perizat@okmpu.kz

CATALYTIC PROPERTIES OF Ru- and Rh-PROMOTED SKELETAL NICKEL CATALYSTS IN THE HYDROGENATION OF BUTYRALDEHYDE

Yegemberdiyeva Saltanat — PhD, Zhanibekov University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: saltanat_2207@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7241-9762>;

Abdurazova Perizat — PhD, Associate Professor, Zhanibekov University, Department of Chemistry, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: abdurazova.perizat@okmpu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-5244-7678>;

Turtabaev Sarsenbek — Doctor of Technical Sciences, Professor, Zhanibekov University, Department of Chemistry, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: sarsenbek.turtabayev@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-4284-5276>;

Shitybaev Serikbek — Candidate of Chemical sciences, associate professor, Zhanibekov University, Department of Chemistry, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: shitibaev.serikbek@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-3819-6675>;

Kerimbayeva Kulyash — Candidate of technical sciences, associate professor, Zhanibekov University, Department of Chemistry, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: kulyash_62@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8902-9958>.

Abstract. Selective hydrogenation reactions of aldehydes play an important role in organic synthesis, petrochemical production, and the pharmaceutical industry. The efficiency of these processes largely depends on the activity, selectivity, and stability of the catalyst used. Such reactions allow the production of various alcohols, which serve as important intermediates in chemical synthesis. Although nickel-based catalysts are widely used, their structural instability and sensitivity to the reaction medium limit their practical application. In addition, during long-term operation a decrease in catalytic activity and structural changes in the catalyst may occur. Therefore, improving the catalytic properties of nickel catalysts by promoting them with noble metals has become an important scientific challenge. The aim of this study is to experimentally evaluate the catalytic activity, selectivity, and stability of skeletal nickel catalysts modified with ruthenium (Ru) and rhodium (Rh) promoters in the hydrogenation of butyraldehyde. Hydrogenation reactions were carried out in the liquid phase under

atmospheric pressure in water and ethanol media. The properties of the catalysts were investigated using hydrogen absorption kinetics, activation energy, and adsorption characteristics, as well as by X-ray diffraction analysis, electron microscopy, and infrared spectroscopy. In addition, factors affecting the surface structure and dispersion of the catalysts were analyzed. The results showed that the hydrogen absorption rate of Ni–1.0% Ru and Ni–1.0% Rh catalysts increases by 2.2 and 1.7 times, respectively, compared with conventional nickel. The hydrogenation reaction proceeds with high selectivity, forming n-butyl alcohol as the main product, with yields of 98–99% for the Ni–Ru system and 95–96% for the Ni–Rh catalyst. Structural and adsorption data indicate that the promoters increase the dispersion of catalyst particles and enhance the amount of adsorbed hydrogen. It was also found that the use of a water medium slows catalyst degradation and improves reaction efficiency. The obtained results demonstrate that Ni–Ru and Ni–Rh catalysts are promising systems for selective and energy-efficient hydrogenation processes.

Keywords: nickel catalyst, ruthenium, rhodium, hydrogenation, adsorption, selectivity, stability

For citations: Yegemberdiyeva S., Abdurazova P., Turtabaev S., Shitybaev S., Kerimbayeva K. Catalytic properties of Ru- and Rh-promoted skeletal nickel catalysts in the hydrogenation of butyraldehyde. Academic Scientific Journal of Chemistry, 2026. — No.1. – P. 97–111. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1491.343>

© Егембердиева С.Ж., Абдуразова П.*, Туртабаев С.К., Шитыбаев С.А., Керимбаева К.З., 2026.

Ө. Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті,
Шымкент, Қазақстан.

E-mail: abdurazova.perizat@okmpu.kz

Ru ЖӘНЕ Rh ПРОМОТОРЛАНҒАН ҚАҢҚАЛЫ НИКЕЛЬ КАТАЛИЗАТОРЛАРЫНЫҢ МАЙ АЛЬДЕГИДІН ГИДРЛЕУ РЕАКЦИЯСЫНДАҒЫ КАТАЛИТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

Егембердиева Салтанат — PhD, Химия кафедрасы, Ө. Жәнібеков атындағы ОҚПУ, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: saltanat_2207@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7241-9762>;

Абдуразова Перизат — PhD, қауымдастырылған профессор, Химия кафедрасы, Ө. Жәнібеков атындағы ОҚПУ, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: abdurazova.perizat@okmpu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-5244-7678>;

Туртабаев Сарсенбек — техника ғылымдарының докторы, профессор, Химия кафедрасы, Ө. Жәнібеков атындағы ОҚПУ, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: sarsenbek.turtabayev@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-4284-5276>;

Шитыбаев Серикбек — химия ғылымдарының кандидаты, доцент, Химия кафедрасы, Ө. Жәнібеков атындағы ОҚПУ, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: shitibaev.serikbek@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-3819-6675>;

Керимбаева Куляш — техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Химия кафедрасы, Ө. Жәнібеков атындағы ОҚПУ, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: kulyash_62@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8902-9958>.

Аннотация. Альдегидтерді селективті гидрлеу реакциялары органикалық синтез, мұнай-химия және фармацевтикалық өндірістерде маңызды орын алады, алайда бұл процестердің тиімділігі катализатордың белсенділігі, селективтілігі және тұрақтылығымен тікелей байланысты. Мұндай реакциялар арқылы әртүрлі спирттер алынып, олар кейінгі химиялық синтездерде маңызды аралық өнімдер ретінде қолданылады. Никель негізіндегі катализаторлар кеңінен қолданылғанымен, олардың құрылымдық тұрақтылығы мен реакциялық ортаға сезімталдығы қолдану аясын шектейді. Сонымен қатар ұзақ уақыт жұмыс істеу барысында катализатордың белсенді орталықтарының азаюы және құрылымдық өзгерістері де байқалуы мүмкін. Осыған байланысты никель катализаторларын асыл металдармен промоторлау арқылы олардың каталитикалық қасиеттерін жақсарту өзекті ғылыми мәселе болып табылады. Осы зерттеудің мақсаты рутений (Ru) және родий (Rh) промоторларымен модификацияланған қаңқалы никель катализаторларының май альдегидін гидрлеу процесіндегі каталитикалық белсенділігін, селективтілігін және тұрақтылығын эксперименттік тұрғыда бағалау болып табылады. Гидрлеу реакциялары сұйық фазада, атмосфералық қысымда, су және этанол орталарында жүргізілді. Катализаторлардың қасиеттері сутегінің сіңіру кинетикасы, активация энергиясы, адсорбциялық сипаттамалары, сондай-ақ рентгенқұрылымдық, электронды-микроскопиялық және ИҚ-спектрлік әдістер көмегімен зерттелді. Сонымен қатар катализаторлардың беткі құрылымы мен дисперстілігіне әсер ететін факторлар да талданды. Зерттеу нәтижелері Ni–1,0 % Ru және Ni–1,0 % Rh катализаторларының сутегінің сіңіру жылдамдығы қалыпты никельмен салыстырғанда сәйкесінше 2,2 және 1,7 есе артатынын көрсетті. Гидрлеу реакциясы жоғары селективтілікпен өтіп, негізгі өнім ретінде н-бутил спирті түзілді; оның шығымы Ni–Ru жүйесінде 98–99%, ал Ni–Rh катализаторында 95–96 % құрады. Құрылымдық және адсорбциялық деректер промоторлардың катализатор бөлшектерінің дисперстілігін арттырып, адсорбцияланған сутегінің көлемін ұлғайтатынын көрсетті. Су ортасының қолданылуы катализатор деградациясын баяулатып, реакция тиімділігін арттыратыны анықталды. Алынған нәтижелер Ni–Ru және Ni–Rh катализаторларының селективті және энергия үнемдейтін гидрлеу процестері үшін перспективалы жүйелер екенін дәлелдейді.

Түйін сөздер: никель катализаторы, рутений, родий, гидрлеу, адсорбция, селективтілік, тұрақтылық

© Егембердиева С.Ж., Абдуразова П., Туртабаев С.К., Шитыбаев С.А., Керимбаева К.З., 2026.

Южно-Казахстанский педагогический университет имени Ө. Жәнібеков,
Шымкент, Казахстан.

E-mail: abdurazova.perizat@okmpu.kz

КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СКЕЛЕТНЫХ НИКЕЛЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ, ПРОМОТИРОВАННЫХ Ru И Rh, В РЕАКЦИИ ГИДРИРОВАНИЯ МАСЛЯНОГО АЛЬДЕГИДА

Егембердиева Салтанат — PhD, кафедра «Химия», ЮКПУ имени Ө. Жәнібекова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: saltanat_2207@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7241-9762>;

Абдуразова Перизат — PhD, ассоциированный профессор, кафедра «Химия», ЮКПУ имени Ө. Жәнібекова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: abdurazova.perizat@okmpu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-5244-7678>;

Туртабаев Сарсенбек — доктор технических наук, профессор, кафедра «Химия», ЮКПУ имени Ө. Жәнібекова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: sarsenbek.turtabayev@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-4284-5276>;

Шитыбаев Серикбек — кандидат химических наук, доцент, кафедра «Химия», ЮКПУ имени Ө. Жәнібекова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: shitibaev.serikbek@mail.ru, <https://orsid.org/0009-0004-3819-6675>;

Керимбаева Куляш — кандидат технических наук, доцент, кафедра «Химия», ЮКПУ имени Ө. Жәнібекова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: kulyash_62@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8902-9958>.

Аннотация. Реакции селективного гидрирования альдегидов занимают важное место в органическом синтезе, нефтехимической и фармацевтической промышленности, при этом эффективность данных процессов определяется активностью, селективностью и стабильностью применяемых катализаторов. С использованием таких реакций получают спирты, широко применяемые в качестве промежуточных соединений в химическом синтезе. Несмотря на широкое распространение никелевых катализаторов, их структурная нестабильность и чувствительность к условиям реакции ограничивают практическое применение. Кроме того, в процессе длительной эксплуатации наблюдается снижение активности каталитических центров и изменение структуры катализатора. В связи с этим улучшение каталитических свойств никелевых катализаторов путём их промотирования благородными металлами является актуальной научной задачей. Целью исследования является экспериментальная оценка активности, селективности и стабильности скелетных никелевых катализаторов, модифицированных рутением (Ru) и родием (Rh), в реакции гидрирования масляного альдегида. Реакции гидрирования проводились в жидкой фазе при атмосферном давлении в водной и этанольной средах. Свойства катализаторов исследованы методами кинетики поглощения водорода, определения энергии активации и адсорбционных характеристик, а также с применением рентгеноструктурного анализа, электронной микроскопии и инфракрасной

спектроскопии. Результаты показали, что скорость поглощения водорода катализаторами Ni–1,0 % Ru и Ni–1,0 % Rh увеличивается соответственно в 2,2 и 1,7 раза по сравнению с немодифицированным никелем. Реакция гидрирования протекает с высокой селективностью с образованием *n*-бутилового спирта как основного продукта; его выход составляет 98–99 % для системы Ni–Ru и 95–96 % для системы Ni–Rh. Установлено, что введение промоторов повышает дисперсность частиц катализатора и увеличивает количество адсорбированного водорода. Также показано, что использование водной среды замедляет деградацию катализатора и повышает эффективность процесса. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности катализаторов Ni–Ru и Ni–Rh для селективных и энергоэффективных процессов гидрирования.

Ключевые слова: никелевый катализатор, рутений, родий, гидрирование, адсорбция, селективность, устойчивость

Кіріспе. Каталитикалық гидрлеу реакциялары қанықпаған органикалық қосылыстарды селективті түрде тотықсыздандырудың негізгі әдістерінің бірі болып табылады және химия, мұнай-химия, фармацевтика мен материалтану салаларында кеңінен қолданылады. Мұндай процестердің тиімділігі катализатордың табиғатына, беттік және электрондық құрылымына, сондай-ақ реакциялық ортаның параметрлеріне тікелей тәуелді екені көптеген зерттеулерде көрсетілген (Bond, 2012; Somorjai and Li, 2010). Әсіресе сұйық фазада жүретін гидрлеу реакцияларында еріткіштің сутегінің ерігіштігіне және беттік тасымал процестеріне әсері маңызды рөл атқарады (Chen et al., 2020).

Никель негізіндегі катализаторлар сутегіні адсорбциялау және активтендіру қабілетінің жоғары болуына байланысты альдегидтер мен кетондарды гидрлеу реакцияларында кең қолданылады (Bartholomew and Farrauto, 2011). Сонымен қатар никельдің салыстырмалы түрде арзандығы оны өнеркәсіптік катализ үшін тартымды етеді. Алайда қаңқалы никель катализаторларының құрылымдық тұрақтылығының шектеулі болуы, агрегацияға бейімділігі және реакциялық ортаға сезімталдығы олардың ұзақ мерзімді қолданылуын қиындатады (Satterfield, 1991).

Зерттеудің мақсаты – рутений (Ru) және родий (Rh) промоторларымен модификацияланған қаңқалы никель катализаторларының май альдегидін гидрлеу реакциясындағы каталитикалық белсенділігі, селективтілігі және тұрақтылығының өзгеру заңдылықтарын анықтау. Сонымен қатар промотор металдардың катализатордың құрылымдық, адсорбциялық және электрондық қасиеттеріне әсерін бағалау, сондай-ақ реакциялық ортаның (су және этанол) гидрлеу процесінің кинетикалық параметрлеріне ықпалын зерттеу көзделді.

Осыған байланысты жұмыста келесі зерттеу сұрағына жауап ізделді: рутений және родиймен модификацияланған никель катализаторлары май альдегидін гидрлеу реакциясында каталитикалық белсенділік пен селективтілікті қандай механизмдер арқылы арттырады және еріткіш табиғаты катализатордың тиімділігі мен тұрақтылығына қалай әсер етеді? Бұл сұрақты талдау биметаллды Ni–Ru және Ni–Rh катализаторларының каталитикалық қасиеттерінің қалыптасу заңдылықтарын түсіндіруге және селективті гидрлеу процестері үшін тиімді каталитикалық жүйелерді ғылыми тұрғыдан негіздеуге мүмкіндік береді.

Әдеби шолу. Катализатордың тиімділігі тек оның химиялық құрамымен ғана

емес, сонымен бірге беткі қабаттағы белсенді орталықтардың табиғатымен, бөлшектердің дисперстілігімен және электрондық қасиеттерімен де анықталады. Қаңқалы никель жүйелерінде гидрлеу процесінің жылдамдығы көбіне сутегінің диссоциативті адсорбциясына, атомдық сутегінің бет бойынша миграциясына және органикалық субстраттың адсорбциялық қасиеттеріне тәуелді болады. Осы тұрғыдан алғанда биметаллды катализаторларды қолдану катализатордың беттік энергетикасын және электрондық құрылымын өзгерту арқылы реакцияның кинетикалық параметрлерін жақсартуға мүмкіндік береді (Rodriguez et al., 2014; Wang et al., 2018).

Соңғы жылдары никель катализаторларын рутений (Ru) және родий (Rh) сияқты асыл металдармен промоторлау арқылы олардың каталитикалық қасиеттерін жақсарту бағыты белсенді дамып келеді. Әдеби деректерде Ni–Ru және Ni–Rh биметаллды жүйелерінде айқын синергетикалық әсер байқалатыны, бұл сутегінің диссоциативті адсорбциясын және бет бойынша тасымалдануын күшейтетіні көрсетілген (Chen et al., 2017; van der Wal et al., 2015). Рутений мен родий никельдің электрондық күйін өзгертіп, белсенді орталықтардың энергетикалық біртектілігін арттырады, нәтижесінде реакция жылдамдығы мен селективтілігі жоғарылайды (Zhang et al., 2016; Wang et al., 2018).

Ru және Rh атомдары сутегіні активтендіру қабілеті жоғары орталықтар ретінде әрекет етеді және никель бетінде атомдық сутегінің түзілуін жеңілдетеді. Сонымен қатар бұл металдар никель бөлшектерінің шамадан тыс іріленуін тежеп, ұсақ дисперсті құрылымның қалыптасуына ықпал етеді. Мұндай құрылымдық өзгерістер нәтижесінде катализатордың меншікті бет ауданы артып, альдегид молекулаларының адсорбциясы мен гидрлену реакциясының тиімділігі жоғарылайды (Zhu et al., 2019; Alonso et al., 2012).

Сонымен қатар, сұйық фазалы гидрлеу процестерінде еріткіштің табиғаты промоторланған никель катализаторларының белсенділігі мен тұрақтылығына айтарлықтай ықпал етеді. Су ортасының катализатор деградациясын баяулататыны және белсенді орталықтардың сақталуына қолайлы жағдай жасайтыны бірқатар жұмыстарда атап өтілген (Liu et al., 2021; Wang et al., 2022). Полярлы еріткіш ретінде су реакция өнімдерінің десорбциясын жеңілдетіп, катализатор бетінің улануын азайтуы мүмкін. Ал этанол сияқты органикалық еріткіштерде адсорбциялық тепе-теңдік өзгеше қалыптасып, кей жағдайда органикалық молекулалардың катализатор бетімен өзара әрекеттесуі күшейеді (Chen et al., 2020). Дегенмен, май альдегидін гидрлеу реакциясында Ni–Ru және Ni–Rh катализаторлары үшін промотор үлесінің, еріткіш табиғатының және адсорбциялық қасиеттердің өзара байланысы толық жүйеленбеген. Осыған байланысты биметаллды никель катализаторларының каталитикалық мінез-құлқын терең зерттеу олардың белсенділігі мен тұрақтылығының негізгі факторларын анықтауға мүмкіндік береді.

Материалдар мен әдістер. Бұл зерттеуде май альдегидін гидрлеу үшін қаңқалы никель катализаторларының рутений (Ni–Ru) және родиймен (Ni–Rh) промоторланған қатарлары қолданылып, олардың адсорбциялық және каталитикалық қасиеттері бірдей шарттарда салыстырылды. Реакциялар су мен этанол орталарында, 15–25 °C диапазонда, атмосфералық қысымда ($\approx 0,1$ МПа; 760 мм сын.бағ.) жүргізілді; бұл режим патенттік сипаттамада берілген пайдалы модель параметрлеріне сәйкес келеді.

Катализатор үлгілерін салыстырмалы түрде зерттеу үшін барлық тәжірибелер бірдей эксперименттік жағдайларда жүргізілді. Бұл тәсіл промоторлардың әсерін бөгде факторлардың ықпалынсыз бағалауға мүмкіндік береді. Әрбір катализатор тәжірибеге дейін сутегі атмосферасында алдын ала активтендірілді, бұл металл фазасының толық қалыптасуына және белсенді орталықтардың тұрақтануына жағдай жасайды (Bartholomew and Farrauto, 2011). Реакция барысында температура мен қысымның тұрақтылығы үздіксіз бақыланып отырды.

Май альдегидінің бастапқы концентрациясы әдетте жылдамдыққа әсер етпейді және процесс нөлінші ретті кинетикамен сипатталады; тек ерітіндідегі концентрацияны шамамен екі есеге ($\approx 2,2$ ммоль-ге дейін) арттырғанда уақытша жылдамдық өсімі байқалады, ал әрі қарай ұлғайту катализатор бетінің органикалық молекулалармен жабылуын күшейтіп, жылдамдықтың төмендеуіне әкеледі. Осыған байланысты лимиттеуші саты ретінде сутегінің активтенуі анықталды: белсенді сутегі қоры азайғанда гидрлеу бағыты бәсеңдеп, деструктивтік (ыдырау) жолдың үлесі артады.

Каталитикалық өлшеулер үшін уақытқа байланысты сутегінің сіңірілген көлемі (V , мл H_2) тіркеліп, сол бойынша минутына және катализатор грамына келтірілген гидрлеу жылдамдығы (W , мл H_2 /мин·г·кат) есептелді; параллель түрде потенциометриялық бақылауда жүйенің электрлік потенциалы (E , мВ) үздіксіз мониторингтелді. Кинетикалық қисықтарда ордината осінің жоғары бөлігінде $W(t)$, төменгі бөлігінде $E(t)$, ал абсциссада V бейнеленді; бұл бірізді хаттама Ni–Ru және Ni–Rh жүйелеріне де, су мен этанол ортасына да бірдей қолданылды.

Қаңқалы Ni ($\approx 50\%$ Al) үшін қанығу потенциалы шамамен 700 мВ, ал Ru немесе Rh-пен промоторланған нұсқаларында ≈ 650 мВ деңгейінде байқалды. Алғашқы минуттарда катализатор белсенділігін салыстыру үшін енгізу сәтіндегі анодтық ығысу (ΔE) мен осы интервалда сіңген H_2 көлемі пайдаланылды: ΔE төмендеген сайын адсорбция күшінің әлсіреуімен қатар W артады. Су ерітіндісінде Ni–Ru қатарында белсенділік айқын максимумға 1,0 % Ru құймасында жетіп, сутегінің сіңіру жылдамдығы қаңқалы никельге қарағанда шамамен 2,2 есе жоғары болды. Ru мөлшерін әрі қарай көбейту белсенділіктің төмендеуіне әкелді. Этанол ортасында Ni–Ru жүйелері үшін белсенділік Ru үлесі артқан сайын біртіндеп өсіп, шамамен 10 % Ru құрамында қаңқалы никельмен салыстырғанда $\approx 1,8$ есе жоғары мәнге жетті. Екі ортада да реакциялар бәсеңдеуші жылдамдықпен жүрді және гидрлеу аяқталғаннан кейін катализатор потенциалы қанығу мәніне толық жетпей қалды, бұл өнімдердің бетте қайтымсыз адсорбциясымен түсіндіріледі. Ni–Rh жүйелері үшін де ұқсас заңдылықтар байқалды: суда ең жоғары белсенділік 1,0 % Rh құрамында тіркеліп, сутегінің сіңіру жылдамдығы қаңқалы никельге қарағанда шамамен 1,7 есе жоғары болды. Ал этанол ортасында Rh мөлшерінің артуымен белсенділік біртіндеп өсіп, шамамен 10 % Rh деңгейінде қаңқалы Ni-мен салыстырғанда $\approx 2,2$ есе жоғары көрсеткішке жетті.

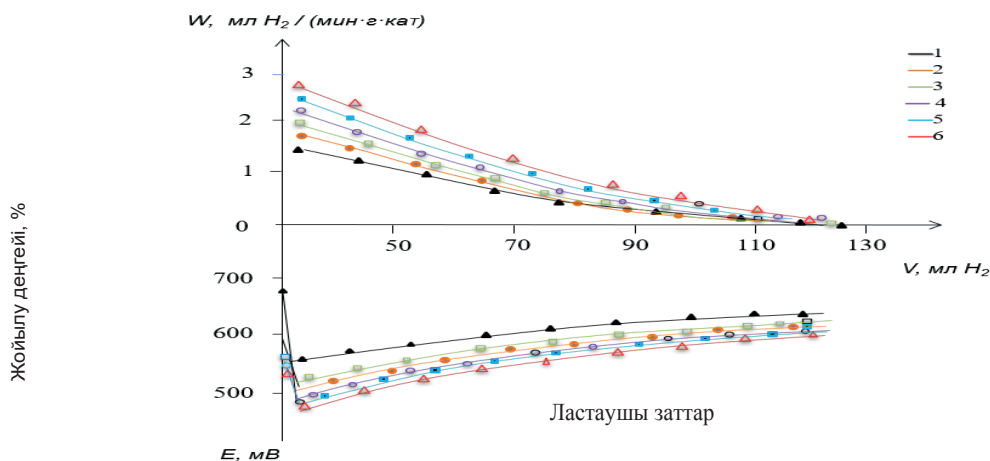
Катализаторлардың тұрақтылығын бағалау үшін әрбір үлгіде үш тізбекті (кезекті) сынама жүргізілді. Әрбір келесі циклде реакция жылдамдығының белгілі бір төмендеуі байқалғанымен, су ортасында промоторланған жүйелер

этанол ортасына қарағанда айқынырақ тұрақтылық көрсетті. Бұл құбылыс этанол ерітіндісінде органикалық өнімдердің катализатор бетіне салыстырмалы түрде күштірек адсорбциялануымен түсіндіріледі, соның салдарынан белсенді орталықтардың уақытша бітелуі жиірек байқалады. Адсорбциялық сипаттамалар термодесорбция және кондуктометрия әдістерімен анықталды. Ru немесе Rh енгізу әлсіз адсорбцияланған сутегінің үлесін және жалпы адсорбцияланған H₂ мөлшерін арттырды, сонымен бірге сутегі байланысының энергиясын күшейтті. Нәтижесінде белсенді орталықтардағы сутегінің бет бойынша тасымалы жеңілдеп, айқын активтендіру энергиясы төмен аймаққа ығысты. Реакция өнімдерінің құрылымын анықтау мақсатында n-бутил спиртінің ИҚ спектрлері тіркелді. ИҚ-Фурье спектроскопиялық талдау нәтижесінде O–H тобының валенттік тербелісі 3329 см⁻¹ жиілікте, деформациялық O–H тербелісі шамамен 1338 см⁻¹ аймағында, ал біріншілік спирттерге тән C–O валенттік тербелісі 1072 см⁻¹ жиілікте байқалды. Бұл мәліметтер гидрлеу реакциясының негізгі өнімі ретінде n-бутил спиртінің түзілетінін растады. Жалпы алғанда, қолданылған кинетикалық-потенциометриялық хаттама және адсорбциялық сипаттамаларды кешенді талдау промоторланған қаңқалы никель жүйелерінің белсенділік-тұрақтылық теңгерімін, сондай-ақ еріткіштің (су/этанол) рөлін салыстырмалы түрде бағалауға мүмкіндік берді. Алынған кинетикалық деректердің сенімділігін қамтамасыз ету үшін барлық тәжірибелер бірнеше рет қайталанып жүргізілді, ал нәтижелер арасындағы айырмашылық 5–7 % шегінде болды.

Нәтижелер. Май альдегидін гидрлеу реакциясында қаңқалы никель катализаторларын рутениймен (Ni–Ru) және родиймен (Ni–Rh) промоторлау олардың белсенділігі мен селективтілігін айтарлықтай өзгертетіні тәжірибелермен дәлелденді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, сутегінің сіңірілу жылдамдығы мен реакцияның кинетикалық параметрлері еріткіш табиғатына және промотор үлесіне тәуелді сипат алды. Алынған нәтижелер биметаллды катализаторлардың каталитикалық қасиеттері олардың құрылымдық және электрондық параметрлерімен тығыз байланысты екенін көрсетті. Ru және Rh енгізу никель бөлшектерінің дисперстілігін арттырып қана қоймай (Zhu et al., 2019; Zhang et al., 2016), катализатор бетінің электрондық құрылымын да өзгертеді. Мұндай өзгерістер альдегид молекулаларының адсорбция энергиясына әсер етіп, гидрлеу реакциясының селективті жолмен жүруіне қолайлы жағдай жасайды.

Кинетикалық қисықтар (1-сурет, 1-кесте) май альдегидінің гидрлеу реакциясы бәсеңдеуші жылдамдықпен жүретінін көрсетті, бұл сұйық фазалы гидрлеу процестеріне тән құбылыс болып табылады және адсорбцияланған сутегінің біртіндеп таусылуымен түсіндіріледі (Satterfield, 1991). Су ерітіндісінде Ni–1,0 % Ru катализаторы үшін сутегіні сіңіру жылдамдығы қаңқалы никельмен салыстырғанда 2,2 есе жоғары болды. Алайда Ru мөлшері 1,0 %-дан асқанда белсенділіктің төмендеуі байқалды. Бұл құбылыс асыл металдардың артық мөлшерде енгізілуі кезінде никельдің белсенді орталықтарының ішінара экранирленуімен және беттік қайта құрылымдануымен байланысты болуы мүмкін (Rodriguez et al., 2014; Zhang et al., 2016). Этанол ортасында да ұқсас тәуелділік

сақталғанымен, реакция жылдамдығының абсолюттік мәндері төменірек болды, бұл еріткіштің сутегінің ерігіштігіне және диффузиялық қасиеттеріне байланысты (Bond, 2012; Chen et al., 2020). Полярлы орта ретінде су сутегінің катализатор бетіне жеткізілуін жеңілдетіп, реакция өнімдерінің десорбциясын тездетуі мүмкін, ал этанолда органикалық молекулалардың адсорбциясы күштірек жүреді. Сондықтан су ерітіндісінде гидрлеу жылдамдығы жоғары және катализатордың тұрақтылығы да жақсы байқалады.



Сурет 1 – Құрамында Ru қоспасы 0,5–10,0 % аралығында болатын қаңқалы Ni катализаторларындағы май альдегидінің гидрлену процесінің кинетикалық және потенциометриялық тәуелділіктері. T = 20°C; P(H₂) = 0,1 МПа; (1а, еріткіш – су. 1б- реакция ортасы – этанол)

Кесте 1 - Май альдегидінің гидрлену реакциясының тиімділігіне әсер ететін әртүрлі еріткіштердегі катализатор үлгілерінің салыстырмалы сипаттамасы

Қоспа	Қоспа саны, %масс	Sменш.,м ² /г	H ₂ O		CH ₃ CH ₂ OH	
			W,мл(H ₂) /мин·г·кат	ΔE,мВ	W,мл(H ₂) /мин·г·кат	ΔE,мВ
Ru	0,5	102	2,8	100	1,8	115
	1,0	110	4,3	80	2,0	110
	3,0	106	3,7	90	2,3	118
	5,0	105	3,5	95	2,5	120
	10,0	98	2,3	110	2,8	125
Ni _{скел.}	-	105	2,1	120	1,5	140

Қайталанған сынамалар бойынша су ерітіндісінде реакция жылдамдығы этанолға қарағанда жоғары және катализаторлардың деградациясы баяу жүретіні анықталды. Белсенді катализатор үшін айқын активтендіру энергиясы 5,3–9,2 ккал/моль аралығында болады. Мұндай салыстырмалы түрде төмен мәндер гидрлеу реакциясының сутегінің активтенуімен шектелетінін және промотор

енгізу бұл сатының энергетикалық тосқауылын төмендететінін көрсетеді.

Жүргізілген тәжірибелер нәтижелеріне сәйкес, Ni–Rh жүйелері үшін ең жоғары белсенділік 1,0 % Rh құрамында байқалды, бұл кезде сутегіні сіңіру жылдамдығы қалыпты Ni-мен салыстырғанда 1,7 есе артты. Родийдің сутегіні активтендіру қабілетінің жоғары болуы және оның никельдің электрондық күйіне әсері бұл нәтижені түсіндіреді (Wang et al., 2018). Rh мөлшерінің артуымен этанол ортасында реакция жылдамдығының біртіндеп өсуі сутегінің «spillover» механизмімен және биметаллды беттердің қалыптасуымен байланысты болуы мүмкін (Li et al., 2019). Тізбекті сынамаларда жылдамдықтың төмендеу тенденциясы судағы катализаторлардың тұрақтылығының жоғары екенін көрсетті (2-кесте).

Кесте 2 - Су және этанол орталарында май альдегидін гидрлеу тиімділігіне әсер ететін катализаторлардың құрамдық және белсенділік сипаттамалары

Қоспа	Қоспа саны, %масс	Сменш., м ² /г	H ₂ O		CH ₃ CH ₂ OH	
			W, мл(H ₂) /мин·г·кат	ΔE, мВ	W, мл(H ₂) /мин·г·кат	ΔE, мВ
Rh	0,5	114	3,1	105	2,3	120
	1,0	120	3,6	95	2,5	115
	3,0	110	2,8	110	3,1	125
	5,0	105	2,5	115	3,3	130
	10,0	103	2,4	120	3,5	135
Ni _{скала}	-	83	2,1	120	1,5	140

Рентгенографиялық және электронды микроскопиялық зерттеулер Ru және Rh қоспалары катализатор бөлшектерінің дисперстілігін арттырып, меншікті бет ауданын ұлғайтатынын көрсетті. Мұндай құрылымдық өзгерістер асыл металдардың никельдің қайта кристалдануын тежеу арқылы ұсақ дисперсті құрылым түзуіне байланысты екені әдебиетте көрсетілген (Ertl et al., 2008; Zhu et al., 2019). Белсенді бет ауданының артуы реакция жылдамдығының жоғарылауына тікелей ықпал етеді, себебі гидрлеу процестерінде жылдамдық көбіне сутегінің активтену сатысымен шектеледі (Somorjai and Li, 2010).

3-кестеде ұсынылған мәліметтер қаңқалы никель катализаторының адсорбциялық қасиеттерін айқын көрсетеді: адсорбцияланған сутегінің көлемі 17,6 мл/г, ал меншікті беттік ауданы 63,8 м²/г құрайды. Промотор элементтерін енгізу бұл көрсеткіштерді едәуір арттырады — Ru бар катализатор үшін мәндер 26,4 мл/г және 96,0 м²/г, ал Rh бар катализаторда тиісінше 30,0 мл/г және 110,0 м²/г деңгейіне дейін өседі. Мұндай өзгерістер катализатор бетінде реакцияға қабілетті орталықтардың саны артқанын және сутегінің адсорбциялану қабілеті жоғарылағанын көрсетеді. Сонымен қатар әлсіз байланысқан сутегінің үлесінің артуы гидрлеу реакциясының жылдам жүруіне қолайлы жағдай жасайды.

Кесте 3- Май альдегидін сорбцияланған сутегімен гидрлеу реакциясында промоторлардың әсерін көрсететін катализатор үлгілерінің салыстырмалы сипаттамалары

Промотор	H ₂ , мл/г			Термодесорбция, мл/г	S, м ² /г		Металдық беті, %
	барлығы	әлсіз	тұрақты, %		БЭТ	H ₂	
Қоспасыз	42,8	17,6	59,0	42,0	83,0	63,8	74
Ru	48,0	26,4	45,0	45,0	110,0	96,0	87
Rh	49,4	30,0	41,0	47,0	120,0	110,0	89

Термодесорбция және кондуктометрия мәліметтері бойынша рутений мен родий қоспалары катализатор бетінде әлсіз адсорбцияланған сутегінің үлесін арттырып, оның жалпы көлемін 45–47 мл/г деңгейіне дейін көтерді. Белсенді орталықтар саны өзгермегенмен, адсорбция энергиясы артқаны белсенділікке тікелей әсер етті. Бұл нәтижелер биметаллды жүйелерде сутегінің активтену сатысы жеңілдейтінін және реакция жылдамдығының артуы осы факторлармен байланысты екенін көрсетеді.

4-кесте нәтижелері бойынша қалыпты Ni катализаторының селективтілігі салыстырмалы түрде төмен ($\approx 0,56$), ал Ni–1,0 % Ru және Ni–1,0 % Rh жүйелерінде бұл көрсеткіш 0,9-дан жоғары мәнге жетті. Бұл рутений мен родийдің сутегімен байланысты белсенді орталықтардың электрондық қасиеттерін оңтайландыруымен түсіндіріледі (Rodriguez et al., 2014; Wang et al., 2018).

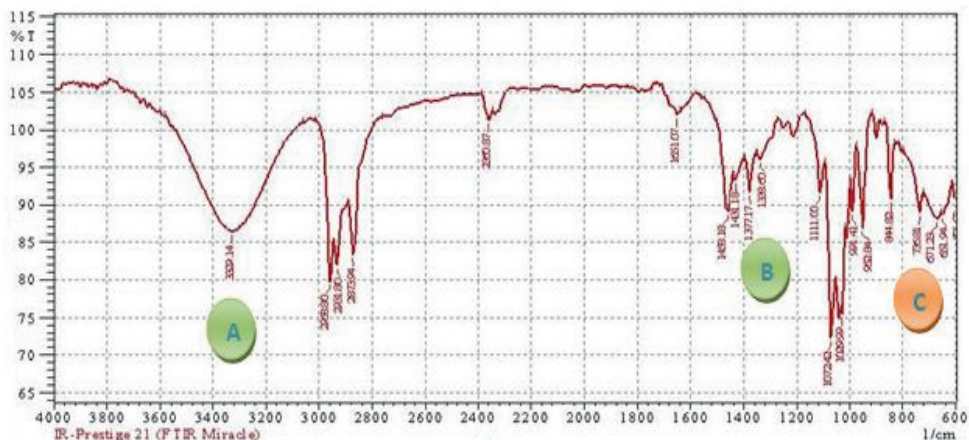
Кесте 4 - Су және этанол орталарында май альдегидінің толық емес гидрлену өнімдерінің салыстырмалы құрамдары мен S-селективтілік шамалары

Катализатор	Еріткіш	Сіңірілген H ₂ , моль	май альдегиді	бутил спирті	пропан	S, %
Nick.	H ₂ O	0,25	52,0	35,8	12,2	59
		0,5	37,5	41,0	21,5	
		0,75	19,0	48,2	32,8	
Ni-1,0% Ru	H ₂ O	0,25	56,2	41,5	2,3	94
		0,5	47,3	50,3	2,4	
		0,75	10,1	87,1	2,8	
Ni-1,0% Rh	H ₂ O	0,25	62,3	35,2	2,5	92
		0,5	47,5	48,9	3,6	
		0,75	11,8	83,5	4,7	
Nick.	C ₂ H ₅ OH	0,25	54,2	31,5	14,3	56
		0,5	39,5	37,0	23,8	
		0,75	20,6	43,8	35,6	
Ni-10,0%Ru	C ₂ H ₅ OH	0,25	60,7	33,5	5,8	79
		0,5	45,6	48,1	6,3	
		0,75	26,0	67,2	6,8	

Ni-10,0%Rh	C ₂ H ₅ OH	0,25	57,3	39,5	3,2	82
		0,5	48,8	46,7	4,5	
		0,75	22,3	72,5	5,2	

Бутил спиртінің құрылымы ИҚ-спектр арқылы расталды (2-сурет). Реакция барысында бутил спирті концентрациясы альдегид жойылғаннан кейін тез өседі, ал қосымша өнім пропан деструктивтік жолмен түзіледі. Негізгі өнім шығымы Ni-1,0 % Ru катализаторында 98–99 %, Ni-1,0 % Rh жүйесінде 95–96 % құрады.

Май альдегидінің гидрлену өнімдерінің құрылымдық ерекшеліктерін айқындау мақсатында ИҚ-спектрлер 600–4000 см⁻¹ жиілік аймағында «Shimadzu IR Prestige-21» ИҚ-Фурье спектрометрінде (ATR приставкасымен) тіркелді. ИҚ-спектрлік талдау нәтижелері н-бутил спиртінің құрылымдық ерекшеліктерін айқын көрсетті. А – сутегі байланысы арқылы байланысқан О–Н тобының валенттік тербелісі 3329 см⁻¹ жиілікте байқалды; В–О–Н тобының С–Н жазықтық тербелістерімен күшейтілген деформациялық тербелісі 1338 см⁻¹ маңында тіркелді; С – біріншілік спиртке тән С–О валенттік тербелісі 1072 см⁻¹ жиілікте көрінді.



Сурет 2 - н-бутил спиртінің ИҚ спектрі

Гидрлеу процесі барысында жүйеде бутил спирті мен пропанның түзілуі бір мезгілде басталады. Бутил спиртінің концентрациясының артуы май альдегидінің ерітіндіден толық жойылуымен сәйкес келеді. Су ортасында жүргізілген гидрлеу реакциясының соңында негізгі өнім болып табылатын н-бутил спиртінің шығымы Ni-1,0 % Ru катализаторында 98–99 %, ал Ni-1,0 % Rh катализаторында 95–96 % деңгейінде анықталды. Бұл нәтижелер асыл металдардың альдегид тобының селективті адсорбциясын күшейтіп, көмірсутектік деструкция жолдарын тежейтіні туралы әдеби мәліметтермен сәйкес келеді (Alonso et al., 2012; Wang et al., 2022).

Талқылау. Әдеби деректерге сәйкес, биметаллды Ni-Ru және Ni-Rh жүйелерінде сутегінің активтенуі екі түрлі механизм (Rodriguez et al., 2014; Li et al., 2019)

арқылы жүруі мүмкін: біріншісі – асыл металл бетінде сутегінің диссоциативті адсорбциясы, екіншісі – пайда болған атомдық сутегінің никель бетіне миграциясы. Осындай механизм нәтижесінде реакцияға қатысатын белсенді сутегінің концентрациясы артып, гидрлеу процесінің жалпы жылдамдығы жоғарылайды. Сонымен қатар промотор металдардың енгізілуі катализатордың тұрақтылығын арттырып, бөлшектердің агрегациясын тежейді (Liu et al., 2021). Мұндай әсер әсіресе аз мөлшердегі асыл металдарды енгізгенде айқын байқалады, себебі бұл жағдайда никель бетінде жаңа биметаллды белсенді орталықтар қалыптасады.

Алынған нәтижелер никель катализаторларын рутений және родиймен модификациялау май альдегидін гидрлеу процесінде жоғары белсенділік, селективтілік және тұрақтылыққа қол жеткізудің тиімді тәсілі екенін көрсетеді. Бұл тұжырымдар сұйық фазалы гидрлеу процестеріне арналған заманауи, энергия үнемдейтін каталитикалық жүйелерді жобалау үшін маңызды ғылыми негіз қалыптастырады (Li et al., 2023).

Зерттеу нәтижелері еріткіш табиғатының да маңызды рөл атқаратынын көрсетті. Су ортасында реакция жылдамдығы жоғары және катализатор деградациясы баяу жүретіні анықталды. Бұл құбылыс су молекулаларының катализатор бетінде органикалық өнімдердің шамадан тыс адсорбциясын әлсіретуімен және белсенді орталықтардың бітелуін азайтуымен түсіндіріледі. Сонымен қатар су ортасы сутегінің катализатор бетіне жеткізілуін жеңілдетіп, реакция өнімдерінің десорбциясын тездетуі мүмкін. Ал этанол ортасында органикалық молекулалардың беттік адсорбциясы күштірек болғандықтан реакция жылдамдығы салыстырмалы түрде төменірек байқалды.

Алынған нәтижелер биметаллды катализаторлардың құрылымдық және электрондық қасиеттерін мақсатты түрде өзгерту арқылы олардың каталитикалық сипаттамаларын тиімді басқаруға болатынын көрсетті. Ru және Rh сияқты асыл металдарды аз мөлшерде енгізу никель катализаторларының белсенділігін арттырып қана қоймай, олардың ұзақ уақыт тұрақты жұмыс істеу қабілетін де жақсартады. Бұл металдар сутегінің диссоциативті адсорбциясын жеңілдетіп, атомдық сутегінің никель беті бойынша миграциясын күшейтеді, нәтижесінде гидрлеу процесінің тиімділігі жоғарылайды. Сонымен қатар промоторлар никель бөлшектерінің агрегациясын тежеп, катализатор құрылымының тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Практикалық тұрғыдан алғанда, анықталған заңдылықтар энергия шығыны төмен, селективтілігі жоғары және ұзақ уақыт бойы белсенділігін сақтайтын гидрлеу катализаторларын жасау үшін маңызды. Мұндай жүйелер органикалық синтезде, мұнай-химия өндірісінде және оттекті органикалық қосылыстарды селективті тотықсыздандыру процестерінде қолданылуы мүмкін. Зерттеу нәтижелері Ni–Ru және Ni–Rh катализаторларының сұйық фазалы гидрлеу реакцияларында жоғары тиімділік көрсететін перспективалы каталитикалық жүйелер екенін дәлелдейді.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу май альдегидін гидрлеу реакциясында қаңқалы никель катализаторларын рутений және родиймен промоторлау олардың

каталитикалық белсенділігі, селективтілігі және тұрақтылығын айтарлықтай арттыратынын көрсетті. Эксперименттік нәтижелер Ni–Ru және Ni–Rh биметаллды жүйелерінің қалыпты никель катализаторымен салыстырғанда сутегіні адсорбциялау және активтендіру қабілетінің жоғары екенін растады. Су ортасында Ni–1,0 % Ru және Ni–1,0 % Rh катализаторлары үшін сутегіні сіңіру жылдамдығының сәйкесінше 2,2 және 1,7 есе артуы промоторлардың оңтайлы мөлшерде енгізілуі кезінде айқын синергетикалық әсер байқалатынын дәлелдейді. Промотор концентрациясының артуымен белсенділіктің төмендеуі катализатор бетінің қайта құрылымдануымен және белсенді орталықтардың ішінара экранирленуімен байланысты екені анықталды. Бұл құбылыс биметаллды катализаторлар үшін тән заңдылықтармен сәйкес келеді және асыл металдардың мөлшерін оңтайлы таңдаудың маңыздылығын көрсетеді.

Реакцияның жоғары селективтілігі анықталды: негізгі өнім ретінде *n*-бутил спирті түзіліп, оның шығымы Ni–1,0 % Ru жүйесінде 98–99 %, ал Ni–1,0 % Rh катализаторында 95–96 % деңгейінде болды. Қосымша өнім – пропанның аз мөлшерде түзілуі гидрлеу процесінің басым түрде селективті жолмен жүретінін көрсетеді. ИҚ-спектрлік талдау алынған өнімдердің құрылымын толық растады және негізгі өнім ретінде біріншілік спирттің түзілетінін дәлелдеді. Бұл нәтижелер катализатор бетінде альдегид тобының селективті адсорбциясы жүретінін және көмірсутектік деструкция реакцияларының үлесі айтарлықтай төмен екені айқындалды. Құрылымдық және адсорбциялық зерттеулер рутений мен родий енгізу катализатор бөлшектерінің дисперстілігін арттырып, меншікті бет ауданын және адсорбцияланған сутегінің көлемін едәуір ұлғайтатынын көрсетті. Мұндай өзгерістер катализатор бетінде белсенді орталықтардың санының артуына және реакцияға қатысатын атомдық сутегінің концентрациясының көбеюіне әкеледі. Сонымен қатар әлсіз байланысқан сутегінің үлесінің өсуі гидрлеу реакциясының жылдам жүруіне қолайлы жағдай жасайды. Активация энергиясының төмендеуі промоторланған жүйелерде сутегінің активтену сатысының жеңілдейтінін көрсетеді. Бұл факторлар реакцияның жалпы кинетикалық сипаттамаларына оң әсер етіп, процестің тиімділігін арттырады.

Жалпы алғанда, никель катализаторларын аз мөлшерде рутений және родиймен модификациялау май альдегидін гидрлеу процесінде жоғары белсенділік пен селективтілікке қол жеткізудің тиімді әрі перспективалы тәсілі болып табылады. Алынған ғылыми нәтижелер биметаллды катализаторлардың қасиеттерін терең түсінуге мүмкіндік беріп, сұйық фазалы гидрлеу процестерін одан әрі жетілдіру үшін теориялық және практикалық негіз қалыптастырады. Болашақта бұл бағыттағы зерттеулер катализаторлардың ұзақ мерзімді тұрақтылығын, регенерация мүмкіндігін және әртүрлі альдегидтер мен карбонилді қосылыстар үшін қолдану тиімділігін зерттеу арқылы кеңейтілуі мүмкін.

References

- Bond G.C. (2012) *Heterogeneous catalysis: Principles and applications*. Oxford: Oxford University Press. — 384 p. (in English)
- Somorjai G.A., Li Y. (2010) *Introduction to surface chemistry and catalysis*. — 2nd ed. — Hoboken: John Wiley and Sons. — 768 p. (in English)

Chen J., Zhang H., Xu Y. (2020) Solvent effects in liquid-phase hydrogenation over Ni-based catalysts. *Reaction Chemistry and Engineering*. — Vol. 5, No 6. — P. 1034–1043. DOI: 10.1039/D0RE00045F (in English)

Bartholomew C.H., Farrauto R.J. (2011) *Fundamentals of industrial catalytic processes*. — 2nd ed. — Hoboken: John Wiley and Sons. — 672 p. (in English)

Satterfield C.N. (1991) *Heterogeneous catalysis in industrial practice*. — 2nd ed. — New York: McGraw-Hill. — 554 p. (in English)

Rodriguez J.A., Senanayake S.D., Stacchiola D., Liu P., Hrbek J. (2014) The importance of metal–metal and metal–support interfaces in hydrogenation catalysis. *Accounts of Chemical Research*. — Vol. 47, No 3. — P. 773–782. DOI: 10.1021/ar400314y (in English)

Wang H., Liu Y., Xu J. (2018) Promotional effects of noble metals on Ni-based hydrogenation catalysts. *Journal of Catalysis*. — Vol. 361. — P. 287–296. DOI: 10.1016/j.jcat.2018.02.015 (in English)

Chen Y., Li X., Zhang Q., Wang T. (2017) Synergistic effects in Ru–Ni bimetallic catalysts for hydrogenation reactions. *Applied Catalysis A: General*. — Vol. 543. — P. 90–99. DOI: 10.1016/j.apcata.2017.06.012 (in English)

van der Wal L.I., Prins R., van Bokhoven J.A. (2015) Hydrogen activation and spillover on bimetallic catalysts. *Journal of Catalysis*. — Vol. 331. — P. 145–154. DOI: 10.1016/j.jcat.2015.08.002 (in English)

Zhang L., He D., Wang J. (2016) Electronic interaction and catalytic performance of Ru-promoted Ni catalysts. *Catalysis Communications*. — Vol. 75. — P. 1–5. DOI: 10.1016/j.catcom.2015.11.014 (in English)

Zhu Y., An Z., Song H., He J. (2019) Structure–activity relationships of Ru–Ni bimetallic catalysts in aldehyde hydrogenation. *Applied Catalysis B: Environmental*. — Vol. 244. — P. 684–693. DOI: 10.1016/j.apcatb.2018.11.087 (in English)

Alonso D.M., Wettstein S.G., Dumesic J.A. (2012) Bimetallic catalysts for selective hydrogenation reactions. *Chemical Society Reviews*. — Vol. 41, No 24. — P. 8075–8098. DOI: 10.1039/C2CS35188A (in English)

Liu X., Li Y., Zhang Z., Wang C. (2021) Stability and reusability of promoted Ni catalysts in liquid-phase hydrogenation. *Catalysis Science and Technology*. — Vol. 11, No 4. — P. 1295–1305. DOI: 10.1039/D0CY02033A (in English)

Wang X., Chen L., Zhao J. (2022) Selective hydrogenation of aldehydes over Ni-based bimetallic catalysts in aqueous media. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. — Vol. 532. — Article 112744. DOI: 10.1016/j.molcata.2022.112744 (in English)

Li J., Zhou X., Sun K. (2019) Hydrogen spillover and enhanced hydrogenation over Rh–Ni bimetallic catalysts. *Catalysis Today*. — Vol. 323. — P. 29–37. DOI: 10.1016/j.cattod.2018.02.019 (in English)

Ertl G., Knözinger H., Schüth F., Weitkamp J. (2008) *Handbook of heterogeneous catalysis*. — 2nd ed. — Weinheim: Wiley-VCH. — 3296 p. (in English)

Li Y., Sun Q., Bao X. (2023) Advances in Ni-based catalysts for liquid-phase hydrogenation reactions. *Catalysis Reviews*. — Vol. 65, No 2. — P. 219–258. DOI: 10.1080/01614940.2022.2101457 (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 сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

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

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

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 31.03.2026.

Формат 60x88¹/₈.

22,0 п.л. Заказ 1.

«Central Asian Academic Research Center» LLP

Алматы, Қонаев к-сі, 142