

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



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ
«ХАЛЫҚ» ЖҚ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН»
ЧФ «Халық»

N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF
KAZAKHSTAN
«Halyk» Private Foundation

SERIES
CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
4 (457)

SEPTEMBER – DECEMBER 2023

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK



ЧФ «ХАЛЫҚ»

В 2016 году для развития и улучшения качества жизни казахстанцев был создан частный Благотворительный фонд «Халык». За годы своей деятельности на реализацию благотворительных проектов в областях образования и науки, социальной защиты, культуры, здравоохранения и спорта, Фонд выделил более 45 миллиардов тенге.

Особое внимание Благотворительный фонд «Халык» уделяет образовательным программам, считая это направление одним из ключевых в своей деятельности. Оказывая поддержку отечественному образованию, Фонд вносит свой посильный вклад в развитие качественного образования в Казахстане. Тем самым способствуя росту числа людей, способных менять жизнь в стране к лучшему – профессионалов в различных сферах, потенциальных лидеров и «великих умов». Одной из значимых инициатив фонда «Халык» в образовательной сфере стал проект *Ozgeris powered by Halyk Fund* – первый в стране бизнес-инкубатор для учащихся 9-11 классов, который помогает развивать необходимые в современном мире предпринимательские навыки. Так, на содействие малому бизнесу школьников было выделено более 200 грантов. Для поддержки талантливых и мотивированных детей Фонд неоднократно выделял гранты на обучение в Международной школе «Мирас» и в Astana IT University, а также помог казахстанским школьникам принять участие в престижном конкурсе «USTEM Robotics» в США. Авторские работы в рамках проекта «Тәлімгер», которому Фонд оказал поддержку, легли в основу учебной программы, учебников и учебно-методических книг по предмету «Основы предпринимательства и бизнеса», преподаваемого в 10-11 классах казахстанских школ и колледжей.

Помимо помощи школьникам, учащимся колледжей и студентам Фонд считает важным внести свой вклад в повышение квалификации педагогов, совершенствование их знаний и навыков, поскольку именно они являются проводниками знаний будущих поколений казахстанцев. При поддержке Фонда «Халык» в южной столице был организован ежегодный городской конкурс педагогов «Almaty Digital Ustaz».

Важной инициативой стал реализуемый проект по обучению основам финансовой грамотности преподавателей из восьми областей Казахстана, что должно оказать существенное влияние на воспитание финансовой грамотности и предпринимательского мышления у нового поколения граждан страны.

Необходимую помощь Фонд «Халык» оказывает и тем, кто особенно остро в ней нуждается. В рамках социальной защиты населения активно проводится

работа по поддержке детей, оставшихся без родителей, детей и взрослых из социально уязвимых слоев населения, людей с ограниченными возможностями, а также обеспечению нуждающихся социальным жильем, строительству социально важных объектов, таких как детские сады, детские площадки и физкультурно-оздоровительные комплексы.

В копилку добрых дел Фонда «Халык» можно добавить оказание помощи детскому спорту, куда относится поддержка в развитии детского футбола и карате в нашей стране. Жизненно важную помощь Благотворительный фонд «Халык» оказал нашим соотечественникам во время недавней пандемии COVID-19. Тогда, в разгар тяжелой борьбы с коронавирусной инфекцией Фонд выделил свыше 11 миллиардов тенге на приобретение необходимого медицинского оборудования и дорогостоящих медицинских препаратов, автомобилей скорой медицинской помощи и средств защиты, адресную материальную помощь социально уязвимым слоям населения и денежные выплаты медицинским работникам.

В 2023 году наряду с другими проектами, нацеленными на повышение благосостояния казахстанских граждан Фонд решил уделить особое внимание науке, поскольку она является частью общественной культуры, а уровень ее развития определяет уровень развития государства.

Поддержка Фондом выпуска журналов Национальной Академии наук Республики Казахстан, которые входят в международные фонды Scopus и Wos и в которых публикуются статьи отечественных ученых, докторантов и магистрантов, а также научных сотрудников высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов нашей страны является не менее значимым вкладом Фонда в развитие казахстанского общества.

**С уважением,
Благотворительный Фонд «Халык»!**

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының президенті, АҚ «Д.В. Сокольский атындағы отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) Н = 4

Редакция алқасы:

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мынжасарұлы (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» Халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) Н = 11

АГАБЕКОВ Владимир Енокович (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі, Жаңа материалдар химиясы институтының құрметті директоры (Минск, Беларусь) Н = 13

СТРНАД Мирослав, профессор, Чехия ғылым академиясының Эксперименттік ботаника институтының зертхана меңгерушісі (Оломоуц, Чехия) Н = 66

БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың бірінші проректоры (Алматы, Қазақстан) Н = 11

ХОХМАНН Джудит, Сегед университетінің Фармацевтика факультетінің Фармакогнозия кафедрасының меңгерушісі, Жаратылыстану ғылымдарының пәнаралық орталығының директоры (Сегед, Венгрия) Н = 38

РОСС Самир, PhD докторы, Миссисипи университетінің Өсімдік өнімдерін ғылыми зерттеу ұлттық орталығы, Фармация мектебінің профессоры (Оксфорд, АҚШ) Н = 35

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, философия докторы (PhD, фармацевт), Рединг университетінің профессоры (Рединг, Англия) Н = 40

ТЕЛТАЕВ Бағдат Бұрханбайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Қазақстан Республикасы Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігі (Алматы, Қазақстан) Н = 13

ФАРУК Асана Дар, Хамдар аль-Маджида Шығыс медицина колледжінің профессоры, Хамдард университетінің Шығыс медицина факультеті (Карачи, Пәкістан) Н = 21

ФАЗЫЛОВ Серік Драхметұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Органикалық синтез және көмір химиясы институты директорының ғылыми жұмыстар жөніндегі орынбасары (Қарағанды, Қазақстан) Н = 6

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробекқызы, химия ғылымдарының докторы, профессор, Қырғызстан ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА Химия және химиялық технология институты (Бішкек, Қырғызстан) Н = 4

ХАЛИКОВ Джурабай Халикович, химия ғылымдарының докторы, профессор, Тәжікстан ҒА академигі, В.И. Никитин атындағы Химия институты (Душанбе, Тәжікстан) Н = 6

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджидоглы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҰҒА академигі (Баку, Әзірбайжан) Н = 13

ГАРЕЛИК Хемда, философия докторы (PhD, химия), Халықаралық таза және қолданбалы химия одағының Химия және қоршаған орта бөлімінің президенті (Лондон, Англия) Н = 15

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы»

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № **KZ66VPY00025419** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

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

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19

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

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы РҚБ, 2023

Редакцияның мекенжайы: 050100, Алматы қ., Қонаев к-сі, 142, «Д.В. Сокольский атындағы отын, катализ және электрохимия институты» АҚ, каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail: orgcat@nursat.kz

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, президент Национальной академии наук Республики Казахстан, генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (Алматы, Казахстан) Н = 4

Редакционная коллегия:

АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан) Н = 11

АГАБЕКОВ В ладимир Енокович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН Беларуси, почетный директор Института химии новых материалов (Минск, Беларусь) Н = 13

СТРНАД Мирослав, профессор, заведующий лабораторией института Экспериментальной ботаники Чешской академии наук (Оломоуц, Чехия) Н = 66

БУРКИТБАЕВ Мухамбеткали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, Первый проректор КазНУ имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н = 11

ХОХМАНН Джудит, заведующий кафедрой Фармакогнозии Фармацевтического факультета Университета Сегеда, директор Междисциплинарного центра естественных наук (Сегед, Венгрия) Н = 38

РОСС Самир, доктор PhD, профессор Школы Фармации национального центра научных исследований растительных продуктов Университета Миссисипи (Оксфорд, США) Н = 35

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, доктор философии (Ph.D, фармацевт), профессор Университета Рединга (Рединг, Англия) Н = 40

ТЕЛЬГАЕВ Багдат Бурханбайулы, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН РК, Министерство Индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан (Алматы, Казахстан) Н = 13

ФАРУК Асана Дар, профессор колледжа Восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет Восточной медицины университета Хамдарда (Карачи, Пакистан) Н = 21

ФАЗЫЛОВ Серик Драхметович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, заместитель директора по научной работе Института органического синтеза и углехимии (Караганда, Казахстан) Н = 6

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробековна, доктор химических наук, профессор, академик НАН Кыргызстана, Институт химии и химической технологии НАН КР (Бишкек, Кыргызстан) Н = 4

ХАЛИКОВ Джурабай Халикович, доктор химических наук, профессор, академик АН Таджикистана, Институт химии имени В.И. Никитина АН РТ (Душанбе, Таджикистан) Н = 6

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджид оглы, доктор химических наук, профессор, академик НАНА (Баку, Азербайджан) Н = 13

ГАРЕЛИК Хемда, доктор философии (Ph.D, химия), президент Отдела химии и окружающей среды Международного союза чистой и прикладной химии (Лондон, Англия) Н = 15

«Известия НАН РК. Серия химии и технологий».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ66VPY00025419, выданное 29.07.2020 г.

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

Периодичность: 4 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19

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

© РОО Национальная академия наук Республики Казахстан, 2023

Адрес редакции: 050100, г. Алматы, ул. Кунаева, 142, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail: orgcat@nursat.kz

Editor in chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, president of NAS RK, general director of JSC "Institute of fuel, catalysis and electrochemistry named after D.V. Sokolsky (Almaty, Kazakhstan) H = 4

Editorial board:

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich (deputy editor-in-chief) doctor of chemical sciences, professor, academician of NAS RK, director of the international Scientific and production holding «Phytochemistry» (Karaganda, Kazakhstan) H = 11

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) H = 13

STRNAD Miroslav, head of the laboratory of the institute of Experimental Botany of the Czech academy of sciences, professor (Olomouc, Czech Republic) H = 66

BURKITBAYEV Mukhambetkali, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, first vice-rector of al-Farabi KazNU (Almaty, Kazakhstan) H = 11

HOHMANN Judith, head of the department of pharmacognosy, faculty of Pharmacy, university of Szeged, director of the interdisciplinary center for Life sciences (Szeged, Hungary) H = 38

ROSS Samir, Ph.D., professor, school of Pharmacy, national center for scientific research of Herbal Products, University of Mississippi (Oxford, USA) H = 35

KHUTORYANSKY Vitaly, Ph.D., pharmacist, professor at the University of Reading (Reading, England) H = 40

TELTAYEV Bagdat Burkhanbayuly, doctor of technical sciences, professor, corresponding member of NAS RK, ministry of Industry and infrastructure development of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan) H = 13

PHARUK Asana Dar, professor at Hamdard al-Majid college of Oriental medicine. faculty of Oriental medicine, Hamdard university (Karachi, Pakistan) H = 21

FAZYLOV Serik Drakhmetovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, deputy director for institute of Organic synthesis and coal chemistry (Karaganda, Kazakhstan) H = 6

ZHOROBEKOVA Sharipa Zhorobekovna, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Kyrgyzstan, Institute of Chemistry and chemical technology of NAS KR (Bishkek, Kyrgyzstan) H = 4

KHALIKOV Jurabay Khalikovich, doctor of chemistry, professor, academician of the academy of sciences of Tajikistan, institute of Chemistry named after V.I. Nikitin AS RT (Tajikistan) H = 6

FARZALIEV Vagif Medzhid ogly, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Azerbaijan (Azerbaijan) H = 13

GARELIK Hemda, PhD in chemistry, president of the department of Chemistry and Environment of the International Union of Pure and Applied Chemistry (London, England) H = 15

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of chemistry and technology.

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (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 No. **KZ66VPY00025419**, issued 29.07.2020.

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

Periodicity: 4 times a year.

Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19

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

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2023

Editorial address: JSC «D.V. Sokolsky institute of fuel, catalysis and electrochemistry», 142, Kunayev str., of. 310, Almaty, 050100, tel. 291-62-80, fax 291-57-22, e-mail: orgcat@nursat.kz

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
ISSN 2224–5286

Volume 4. Number 457 (2023), 44–53

<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1491.191>

УДК 547.1.661.123:542.941.7:547.36

МРПТИ 31.15.28:31.21.21

© **A.S. Auyezkhanova^{1*}, D.E. Zhanuzak², A.I. Jumekeyeva¹, Zh.K. Korganbaeva³,
A.A. Naizabayev², 2023**

¹ D.V. Sokolskiy Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry,
Almaty, Kazakhstan;

² Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan;

³ Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: a.assemgul@mail.ru

CHITOSAN-STABILIZED CATALYSTS FOR CYCLOHEXANE OXIDATION TO KA-OIL

Auyezkhanova Assemgul Seitkhanovna — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Leading researcher, Laboratory of Organic Catalysis, JSC “D.V. Sokolskiy Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan

E-mail: a.assemgul@mail.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8999-2864>;

Zhanuzak Dilnaz Ergalikyzy — Master's student, Kazakhstan-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: di_zhanuzak@kbtu.kz. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-2918-1171>;

Jumekeyeva Aigul Iembergenovna — Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Organic Catalysis, JSC “D.V. Sokolskiy Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan

E-mail: jumekeyeva@mail.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8084-6070>;

Korganbayeva Zhanar Kozhamberdikyzy — Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer, Department of Chemistry, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: korganbaeva.zhan@mail.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8046-9586>;

Naizabayev Akzhol Armanovich — Master's student, Kazakhstan-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: a_naizabayev@kbtu.kz. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-5317-9070>.

Abstract. The present study proposes the development of polymer-metal complexes supported on aluminosilicates for the liquid-phase oxidation of cyclohexane to valuable oxygen-containing compounds (cyclohexanone and cyclohexanol) under mild conditions. Fe-, Cr- and Fe-Cr catalysts deposited on polymer-modified Siral-40 aluminosilicate were prepared by adsorption method by sequential deposition of polymer and metal salts on the carrier surface. Chitosan (Chit), which has high sorption activity towards transition metal ions, was chosen as a polymer-modifier. Chitosan is a natural polysaccharide with easily modifiable hydroxyl and amino groups in its

structure. Available metals (Fe and Cr) are used as the active phase. Preparation of catalysts excludes high-temperature stages of calcination and reduction. The synthesized catalysts were tested in the oxidation reaction of cyclohexane (CN) to cyclohexanone (CON) and cyclohexanol (COL) under mild conditions. The mixture of CON and COL, referred to in the literature as KA-oil, is a valuable intermediate in the production of caprolactam and adipic acid. Hydrogen peroxide, an environmentally safe reagent whose decomposition produces oxygen and water, was used as an oxidizing agent. The obtained results indicate the promising application of the developed catalysts based on metal ions (Fe and Cr) and natural polymer (chitosan) in the liquid-phase oxidation of cyclohexane under mild condition. The monometallic 5 %Cr-Hit/Siral-40 and 5 %Fe-Chit/Siral-40 catalysts exhibited higher activity selectivity compared to the bimetallic system. In the oxidation of DH under mild conditions (50 °C, 0.1 MPa) on monometallic 5 %Fe-Chit/Siral-40 and 5%Cr-Chit/Siral-40 catalysts, the degree of substrate conversion was 15.2 % and 12.4 %, respectively. The KA-oil selectivity in the presence of all mono- and bimetallic catalysts reaches 100 %.

Key words: oxidation; cyclohexane; supported catalysts; KA-oil; polymer-modifier

© А.С. Ауезханова^{1*}, Д.Е. Жанұзақ², А.И. Джумекеева¹, Ж.Қ. Қорғанбаева³,
А.А. Найзабаев, 2023

¹Д. В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты,
Алматы, Қазақстан;

²Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан;

³ Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан.
E-mail: a.assemgul@mail.ru

КА-ОЙЛҒА ДЕЙІН ЦИКЛОГЕКСАНДЫ ТОТЫҒУДЫҢ ХИТОЗАН- ТҰРАҚТАНДЫРЫЛҒАН КАТАЛИЗАТОРЛАРЫ

Аннотация. Ұсынылған зерттеуде бағалы оттегі бар қосылыстарға дейін (циклогексанон және циклогексанол) жұмсақ жағдайда циклогексанның сұйық-фазалы тотығу процесі үшін алюмосиликатқа отырғызылған полимер-металл кешендер әзірлеу ұсынылды. Тасымалдаушының бетіне полимер мен металл тұздарын дәйекті отырғызу арқылы адсорбция әдісімен полимермен модификацияланған Siral-40 алюминий силикатына бекітілген Fe-, Cr- және Fe-Cr катализаторлары дайындалды. Өтпелі металл иондарына қатысты жоғары сорбциялық белсенділігі бар хитозан (Хит) полимері модификатор ретінде таңдалды. Хитозан – ол табиғи полисахарид, оның құрылымында оңай өзгертілетін гидроксил және амин топтары бар. Белсенді фаза ретінде қол жетімді металдар (Fe және Cr) қолданылды. Катализаторлардың дайындалуы қыздыру мен тотықсыздандырудың жоғары температуралық кезеңдерісіз жүреді. Синтезделген катализаторлар жұмсақ жағдайда циклогексанон (ЦОН) мен циклогексанолға (ЦОЛ) дейін циклогексанның (ЦН) тотығу реакциясында сыналды. Әдебиетте КА-ойл деп аталатын ЦОН мен ЦОЛ қоспасы капролактam мен адипин қышқылының

өндірісінде құнды аралық өнім болып табылады. Тотықтырғыш ретінде сутегінің асқын тотығы қолданылды. Ол экологиялық таза реагент болып саналады. Сутегінің асқын тотығы ыдырау кезінде оттегі мен су түзіледі. Алынған нәтижелер жұмсақ жағдайда циклогексанның сұйық фазалық тотығу процесінде металл иондары (Fe және Cr) және табиғи полимер (хитозан) негізінде жасалынған катализаторларды қолдану перспективасын көрсетеді. Монометалды 5 %Cr-Хит/Siral-40 және 5 %Fe-Хит/Siral-40 катализаторлары биметалл жүйемен салыстырғанда жоғары белсенділік пен селективтілікті көрсетті. Монометалды 5 % Fe-Хит/Siral-40 және 5 % Cr-Хит/Siral-40 катализаторларында жұмсақ жағдайда (50 °С, 0,1 МПа) ЦГ тотығу кезінде субстраттың конверсиясы сәйкесінше 15,2 % және 12,4 % құрады. Барлық моно- және биметалдық катализаторлардың қатысында КА-ойл бойынша селективтілік 100% дейін жетеді.

Түйін сөздер: тотығу; циклогексан; бекітілген катализатор; КА-ойл; полимер-модификатор

© А.С. Ауезханова^{1*}, Д.Е. Жанузак², А.И. Джумекеева¹, Ж.К. Корманбаева³,
А.А. Найзабаев, 2023

¹Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского,
Алматы, Казахстан;

²Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан;

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

E-mail: a.assemgul@mail.ru

ХИТОЗАН-СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ОКИСЛЕНИЯ ЦИКЛОГЕКСАНА ДО КА-ОЙЛА

Аннотация. В настоящем исследовании предлагается разработка полимерметаллических комплексов, закрепленных на алюмосиликат, для жидкофазного процесса окисления циклогексана до ценных кислородсодержащих соединений (циклогексанон и циклогексанол) в мягких условиях. Методом адсорбции путем последовательного нанесения полимера и солей металлов на поверхность носителя были приготовлены нанесенные на алюмосиликат Siral-40, модифицированный полимером Fe-, Cr- и Fe-Cr катализаторы. В качестве полимера-модификатора был выбран хитозан (Хит), обладающий высокой сорбционной активностью по отношению к ионам переходных металлов. Хитозан является природным полисахаридом, в структуре которого имеются легко модифицируемые гидроксильные и аминогруппы. В качестве активной фазы применены доступные металлы (Fe и Cr). Приготовление катализаторов исключает высокотемпературные стадии прокаливания и восстановления. Синтезированные катализаторы были испытаны в реакции окисления циклогексана (ЦН) до циклогексанона (ЦОН) и циклогексанола (ЦОЛ) в мягких условиях. Смесь ЦОН и ЦОЛ, называемая в литературе КА-ойл, является ценным промежуточным продуктом в производстве

капролактама и адипиновой кислоты. В качестве окислителя был использован пероксид водорода – экологически безопасный реагент, при разложении которого образуется кислород и вода. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения разработанных катализаторов на основе ионов металлов (Fe и Cr) и природного полимера (хитозан) в жидкофазном процессе окисления циклогексана в мягких условиях. Монометаллические 5 %Cr-Хит/Siral-40 и 5 %Fe-Хит/Siral-40 катализаторы проявили более высокую активность селективность по сравнению с биметаллической системой. При окислении ЦГ в мягких условиях (50 °С, 0,1 МПа) на монометаллических 5 %Fe-Хит/Siral-40 и 5 %Cr-Хит/Siral-40 катализаторах степень превращения субстрата составила 15,2 % и 12,4 %, соответственно. Селективность по КА-ойлу в присутствии всех моно- и биметаллических катализаторов достигает 100 %.

Ключевые слова: окисление; циклогексан; нанесенные катализаторы; КА-ойл; полимер-модификатор

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (Грант No AP09259638).

Введение

Продукты окисления циклогексана — циклогексанон и циклогексанол, смесь которых в литературе называют КА-ойл, являются важнейшим сырьем для получения ϵ -капролактама (мономера нейлона-6) и адипиновой кислоты (мономера нейлона-66) (Fu, 2023; Wang, 2016; Graça, 2018). Селективное окисление циклогексана в промышленных условиях осуществляется в жидкой фазе при температуре 150–160 °С и давлении кислорода или воздуха 10–20 бар с использованием в качестве гомогенных катализаторов солей кобальта или марганца (Graça, 2018; Li, 2012; Khirsariya, 2014). Одним из недостатков процесса является высокая загрязняемость гомогенного катализатора и его дорогостоящее отделение от продуктов. Поэтому, учитывая растущий спрос на эти продукты окисления и негативное воздействие этого процесса на окружающую среду, предпринимаются постоянные попытки заменить традиционные гомогенные катализаторы на эффективные и более экологически безопасные гетерогенные катализаторы (Graça, 2018). Для селективного окисления циклогексана использовались гетерогенные катализаторы на основе переходных металлов Cr, Co, Mn, Fe (Khirsariya, 2014; Huang X.-F., 2019; Huang G., 2017; Riley, 2012; Vomeri, 2022; Jian, 2020), нанесенные на алюмосиликаты и оксиды (TiO_2 , Al_2O_3 , SiO_2) и др. (Huang G., 2017; Riley, 2012; Vomeri, 2022; Jian, 2020; Bhandari, 2020; Feng, 2015; Zhou, 2014). Гетерогенные катализаторы обладают невысокой стабильностью из-за выщелачивания металлов с поверхности носителя.

Большой интерес представляет применение полимер-металлических комплексов, нанесенных на неорганические подложки, в качестве катализаторов окисления углеводов. Катализатор, химически связанный с носителем, обладает повышенной стабильностью и облегчает отделение продуктов после реакции. Последние исследования показали перспективность применения

природных полисахаридов при дизайне катализаторов (Dohendou, 2021; Zharmagambetova, 2019; Nasrollahzadeh, 2020). Большое количество работ посвящены каталитическим системам на основе хитозана (Хит) (Nasrollahzadeh, 2020; Zheng, 2023; Molnár, 2019; Zharmagambetova, 2021; Kumar, 2015). Присутствие легко модифицируемых гидроксильных и аминогрупп в структуре хитозана, высокая сорбционная активность по отношению к ионам переходных металлов и его нерастворимость в органических растворителях делают его очень привлекательным.

В настоящей работе представлены результаты исследований каталитических свойств хитозан-стабилизированных катализаторов железа и хрома, закрепленных на алюмосиликат марки Siral-40, в реакции жидкофазного окисления циклогексана пероксидом водорода до смеси КА-ойл в мягких условиях.

Материалы и основные методы

Катализаторы готовили адсорбционным методом путем последовательного нанесения полимера, а затем солей металлов ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ и $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) на поверхность неорганического носителя (алюмосиликат Siral-40 с содержанием SiO_2 40 %). В качестве полимера-стабилизатора был выбран водорастворимый азотсодержащий природный полимер — Хитозан (Хит). В качестве активной фазы использованы доступные металлы (Cr, Fe). Содержание металлов в катализаторе составлял 5 %. В случае биметаллического катализатора была синтезирована система следующего состава: 5 %Cr:Fe(1:3)-Хит/Siral-40.

При комнатной температуре и постоянном перемешивании в водную суспензию твердого носителя добавляли водный раствор полимера. Полученную смесь перемешивали в течение 2 часов. Затем прикапыванием добавляли водный раствор ферроцианида калия (нитрата хрома). Смесь перемешивали снова в течение 3-х часов. Катализатор оставляли в маточном растворе на 17 часов. Затем трехкратно промывали дистиллированной водой и сушили на воздухе при комнатной температуре. Количество полимера для приготовления катализатора брали из расчета 1 атом переходного металла (Cr, Fe) на одно макромолекулярное звено.

Окисление проводили в стеклянном термостатированном реакторе, соединенном с бюреткой в среде ацетонитрила при постоянном перемешивании. В качестве окислителя использовали 30 % водный раствор пероксида водорода. В реактор последовательно добавляли ацетонитрил (5 мл), катализатор (0,03 г), субстрат (1,8 моль/л), а затем пероксид водорода ($[\text{H}_2\text{O}_2] = 0,31 \cdot 10^2$ моль/л). Температура реакции 40 °С, давление атмосферное. Продолжительность реакции - 240 мин.

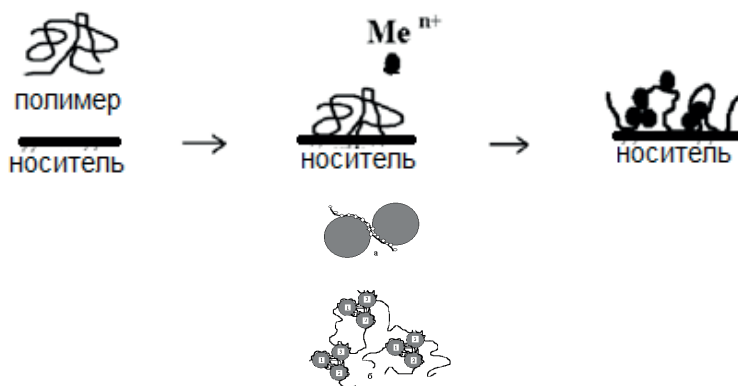
Качественный и количественный анализ продуктов реакции окисления проводили на хроматографе Хромос ГХ-1000 (Россия) с пламенно-ионизационным детектором в изотермическом режиме с использованием капиллярной колонки ВР21 (FFAP) с полярной фазой (ПЭГ, модифицированный нитротерефталатом) длиной 50 м и внутренним диаметром 0,32 мм. Температура колонки составляла 90 °С, температура инжектора – 200 °С, газом-носителем служил гелий, объем

вводимой пробы - 0,2 мкл. Селективность по циклогексанону оценивалась как доля целевого продукта в продуктах реакции при заданной степени конверсии.

Результаты и обсуждение

Были приготовлены полимермодифицированные моно- и биметаллические катализаторы, нанесенные на алюмосиликат с содержанием активной фазы 5 %.

В качестве активной фазой использованы ионы переходных металлов (Fe, Cr), которые образуют с полимерным лигандом полимерметаллические комплексы. При взаимодействии макролиганда с ионами металлов образуются небольшие клубки металлополимерного комплекса, которые связываются между собой полимерными цепями или гидрофобными взаимодействиями:



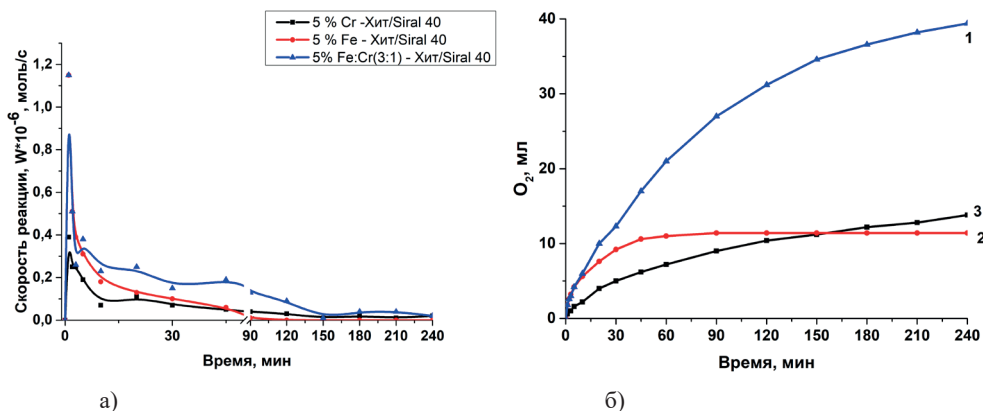
При модификации поверхности носителей макролигандами наблюдается их прочная, необратимая адсорбция. При нанесении активной фазы на модифицированный макролигандом алюмосиликат ионы переходных металлов распределяются вокруг функциональных групп полимерной матрицы и таким образом происходит формирование наночастиц активной фазы. Полимерная матрица предотвращает агломерацию активной фазы и ее вымывание во время процесса, а носитель способствует легкому отделению катализатора из реакционно смеси.

Приготовленные 5 % Cr-, Fe-, Fe-Cr катализаторы, нанесенные на алюмосиликат марки Siral-40 с содержанием SiO₂ 40 %, модифицированный хитозаном, были исследованы в реакции жидкофазного окисления циклогексана (ЦН) пероксидом водорода. Основными условиями осуществления процесса окисления углеводов пероксидом водорода является скорость и полнота его разложения, поэтому была изучена активность синтезированных катализаторов в данной реакции.

По увеличению скорости разложения пероксида и количеству выделенного кислорода при разложении пероксида водорода разработанные катализаторы располагаются в следующий ряд: 5 %Cr:Fe(1:3)-Хит/Siral-40 > 5 %Fe-Хит/Siral-40 > 5 %Cr-Хит/Siral-40.

Из эксперимента следует (рисунок 1), что в идентичных условиях скорость

выделения кислорода и количество выделенного кислорода в присутствии биметаллического катализатора 5 %Cr:Fe(1:3)-Хит/Siral-40 выше, чем на монометаллических железо- и хромовых системах и составляет $1,1 \cdot 10^{-6}$ моль/с и 39,4 мл, соответственно.



а) б)
Рисунок 1. Скорость выделения кислорода и количество выделенного кислорода при разложении пероксида водорода на хитозан-модифицированных катализаторах: 1 – 5 %Cr:Fe(1:3)-Хит/Siral-40; 2–5 %Fe-Хит/Siral-40; 3–5 %Cr-Хит/Siral-40.

Данные хроматографического анализа показали, что продуктами реакции окисления ЦН является смесь циклогексанона (ЦОН) и циклогексанола (ЦОЛ), часто называемых в литературе КА-ойл, т.е. селективность по КА-ойлу составляет 100 %. Установлено, что в зависимости от природы активной фазы катализатора изменяется только соотношение компонентов смеси. Более высокими значениями конверсии ЦГ и селективности по кетону обладает 5 %Cr-Хит/Siral-40 катализатор – 8 % и 65 %, соответственно. Монометаллические катализаторы оказались более активны, в сравнении с биметаллической системой. На 5 %Cr:Fe(1:3)-Хит/Siral-40, который показал более высокую активность при разложении пероксида водорода, наблюдается небольшой выход продуктов реакции, что, видимо, обусловлено вымыванием активной фазы (Cr, Fe) в реакционную смесь при окислении. Цвет катализата в ходе процесса окрашивался в темно-бурый цвет.

Таблица 1 - Окисление циклогексана пероксидом водорода на 5% Cr-, Fe- и Cr:Fe хитозан-модифицированных катализаторах

Катализатор	Продукты реакции, %		Конверсия, %	S _{ЦОН} , %	S _{КА-ойл} , %
	ЦОН, %	ЦОЛ, %			
5% Cr-Хит/Siral-40	5,2	2,8	8,0	65,0	100
5% Fe-Хит/Siral-40	2,0	3,4	5,4	37,0	100
5%Cr:Fe(1:3)- Хит/Siral-40	1,9	1,9	3,8	50,0	100
Условия опыта: Т- 40 °С, Р- 0,1 МПа, субстрат – ЦН 0,3 мл, растворитель – CH ₃ CN 5 мл, окислитель – 30% H ₂ O ₂ 0,9 мл.					

При повышении температуры реакции окисления циклогексана до 50 °С увеличивается скорость разложения пероксида водорода (Рисунок 2, а). Количество выделенного O_2 так же растет. Максимальная скорость разложения пероксида водорода наблюдается в присутствии 5 %Fe-Хит/Siral-40 и составляет $2,6 \cdot 10^{-6}$ моль/с. На биметаллической системе скорость реакции составила $2,2 \cdot 10^{-6}$ моль/с. В случае значений количества выделенного кислорода наблюдается аналогичная зависимость (Рисунок 2, б).

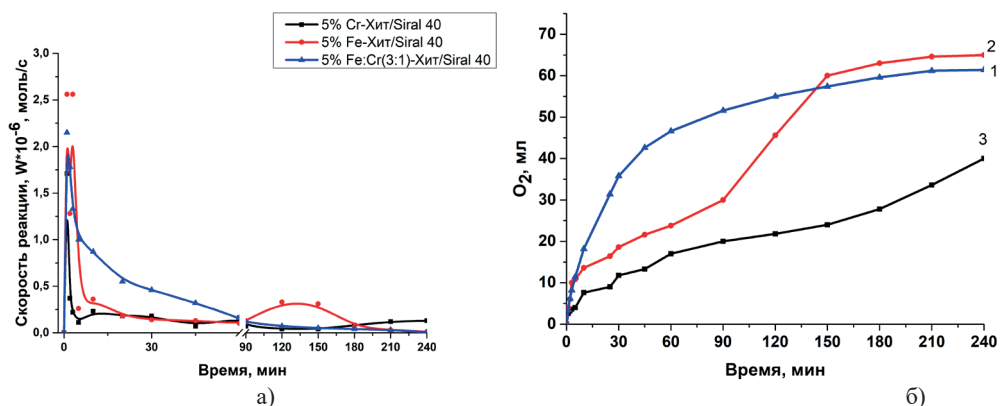


Рисунок 2. Скорость выделения кислорода и количество выделенного кислорода при разложении пероксида водорода на хитозан-модифицированных катализаторах: 1 - 5%Cr:Fe(1:3)-Хит/Siral-40; 2 - 5%Fe-Хит/Siral-40; 3 - 5% Cr-Хит/Siral-40.

Хроматографический анализ продуктов реакции окисления ЦГ свидетельствует об увеличении значений степени превращения субстрата и селективности по циклогексанону на примере активного 5 % Fe-Хит/Siral-40 катализатора с 5,4 % и 37,0 % (при температуре 40 °С) до 15,2 % и 60,5 % (при температуре 50 °С), соответственно (таблица 2).

Таблица 2 - Окисление циклогексана пероксидом водорода на Cr-, Fe- и Cr:Fe хитозан-модифицированных катализаторах при температуре 50 °С.

Катализатор	Продукты реакции, %		Конверсия, %	$S_{\text{ЦОН}}, \%$	$S_{\text{КА-ойл}}, \%$
	ЦОН, %	ЦОЛ, %			
5% Cr-Хит/Siral-40	8,0	4,4	12,4	64,5	100
5% Fe-Хит/Siral-40	9,2	6,0	15,2	60,5	100
5%Cr:Fe(1:3)- Хит/Siral-40	1,8	2,4	4,2	42,9	100

Условия опыта: T- 50 °С, P- 0,1 МПа, субстрат – ЦН 0,3 мл, растворитель – CH₃CN 5 мл, окислитель – 30% H₂O₂ 0,9 мл.

Заключение

Адсорбционным методом синтезированы моно- и биметаллические нанесенные на алюмосиликат марки Siral-40 хитозан-стабилизированные Cr, Fe, Cr-Fe катализаторы с содержанием активной фазы 5 %. Показано, что монометаллические катализаторы проявляют активность и селективность в реакции окислительного

превращения циклогексана в мягких условиях. Селективность по КА-ойлу на разработанных катализаторах составляет 100 %. При окислении ЦГ в мягких условиях (50 °С, 0,1 МПа) в присутствии монометаллических катализаторов состава 5 %Fe-Хит/Siral-40 и 5 %Cr-Хит/Siral-40 конверсия циклогексана составила 15,2 % и 12,4 %, соответственно.

Таким образом, применение хитозана в дизайне каталитических систем позволяет рассматривать полисахарид-содержащие катализаторы, как перспективные для низкотемпературного окисления циклогексана пероксидом водорода.

REFERENCES

- Bhandari S., Khatun R., Poddar M.K., Kothari A.C., Bal R. (2022). Direct oxidation of cyclohexane to adipic acid in air over $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{ZrO}_2$ nanostructured catalyst, *Molecular Catalysis*, — 528: — 112473. — DOI: 10.1016/j.mcat.2022.112473 (in Eng.).
- Dohendou M., Pakzad K., Nezafat Z., Nasrollahzadeh M., Dekamin M.G. (2021) Progresses in chitin, chitosan, starch, cellulose, pectin, alginate, gelatin and gum based (nano)catalysts for the Heck coupling reactions: A review, *International Journal of Biological Macromolecules*, — 192: — 771–819. — DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.09.162 (in Eng.).
- Fu S., You K., Ni W., Chen Z., Zhao F., Yan D., Zhang X., Luo H. (2023). One-step highly selective catalytic oxidation of cyclohexane to KA-oil over functional $\text{CeMn}_0.5\text{Co}_0.5\text{O}_x$ composite oxide: Synergistic effects between Mn and Co species with different valences and metal ion ratios, *Chemical Engineering Science*, — 277: — 118878. — DOI: 10.1016/j.ces.2023.118878 (in Eng.).
- Feng Z., Xie Y., Hao F., Liu P., Luo H. (2015). Catalytic oxidation of cyclohexane to KA oil by zinc oxide supported manganese 5,10,15,20-tetrakis(4-nitrophenyl)porphyrin, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, — 410: — 221–225. — DOI: 10.1016/j.molcata.2015.09.027 (in Eng.).
- Graça I., Al-Shihri S., Chadwick D. (2018). Selective oxidation of cyclohexane: Ce promotion of nanostructured manganese tungstate, *Applied Catalysis A: General*, — 568: — 95–104. — DOI: 10.1016/j.apcata.2018.09.025 (in Eng.).
- Huang X.-F., Yuan G.-P., Huang G., Wei S.-J. (2019). Study on maximizing catalytic performance of cobalt (II) 5,10,15,20-tetrakis(4-pyridyl)porphyrin for cyclohexane oxidation, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, — 77: — 135–145. — DOI: 10.1016/j.jiec.2019.04.028 (in Eng.).
- Huang G., Liu Y., Li J., Xiang C., Chen F., Kai S., Yong Zh., Guo A., Wei S.J., Li X. (2017). Heterogeneous biomimetic catalysis using iron porphyrin for cyclohexane oxidation promoted by chitosan, *Applied Surface Science*, — 402: — 436–443. — DOI: 10.1016/j.apsusc.2017.01.082 (in Eng.).
- Jian J., Kuang D., Wang X., Zhou H., Gao H., Sun W., Yuan Z., Zeng J., You K., Luo H. (2020). Highly dispersed Co/SBA-15 mesoporous materials as efficient and stable catalyst for partial oxidation of cyclohexane with molecular oxygen, *Materials Chemistry and Physics*, — 246: — 122814. — DOI: 10.1016/j.matchemphys.122814 (in Eng.).
- Khirsariya P., Mewada R. (2014). Review of a Cyclohexane Oxidation Reaction Using Heterogenous Catalyst, *IJEDR*, — 2: — 3911–3914 (in Eng.).
- Kumar S., Singhal, N., Singh R.K., Gupta P., Singh R., Jain S.L. (2015). Dual catalysis with magnetic chitosan: Direct synthesis of cyclic carbonates from olefins with carbon dioxide using isobutyraldehyde as the sacrificial reductant, *Dalton Trans*, — 44: — 11860–11866. — DOI: 10.1039/C5DT01012H (in Eng.).
- Li H., She Y., Wang T. (2012). Advances and perspectives in catalysts for liquid-phase oxidation of cyclohexane, *Front. Chem. Sci. Eng*, — 6: — 356–368. — DOI: 10.1007/s11705-012-0903-3 (in Eng.).
- Molnár Á. (2019). The use of chitosan-based metal catalysts in organic transformations, *Coordination Chemistry Reviews*, — 388: — 126–171. — DOI: 10.1016/j.ccr.2019.02.018 (in Eng.).
- Nasrollahzadeh M., Shafiei N., Nezafat Z., Bidgoli N.S.S., Soleimani F. (2020). Recent progresses in the application of cellulose, starch, alginate, gum, pectin, chitin and chitosan based (nano)catalysts in sustainable and selective oxidation reactions: A review, *Carbohydrate Polymers*, — 241: — 116353. — DOI: 10.1016/j.carbpol.2020.116353 (in Eng.).

Riley C.R., Montgomery N.E., Megally N.N., Gunn J.A., Davis L.S. (2012). Oxidation of Cyclohexane by Transition Metal Oxides on Zeolites, *The Open Catal. J.*, — 5: — 8–13 (in Eng.).

Vomeri A., Stucchi M., Villa A., Evangelisti C., Beck A., Prati L. (2022). New insights for the catalytic oxidation of cyclohexane to K-A oil, *Journal of Energy Chemistry*, — 70: — 45–51. — DOI: 10.1016/j.jechem.2022.02.008 (in Eng.).

Wang T., She Y., Fu H., Li H. (2016). Selective cyclohexane oxidation catalyzed by manganese porphyrins and co-catalysts, *Catalysis Today*, — 264: — 185–190. — DOI: 10.1016/j.cattod.2015.07.034 (in Eng.).

Zharmagambetova A.K., Auyezkhanova A.S., Talgatov E.T., Jumekeyeva A.I. (2021). Chitosan-Modified Palladium Catalysts in Hydrogenation of n-Hex-2-yne, *Theoretical and Experimental Chemistry*, — 57: — 371–376. — DOI: 10.1007/s11237-021-09707-0 (in Eng.).

Zharmagambetova, A. K., Usmanova M M., Auyezkhanova A. S., Akhmetova S. N., Talgatov E.T., Tumabayev N.Zh, Dyusenalin B.K. (2019). Synthesis and catalytic properties of composites with Pd-(2-Hydroxyethylcellulose) on bentonite, *News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series Chemistry and Technology*, — 5: — 22–29. — DOI: 10.32014/2019.2518-1491.49 (in Eng.).

Zheng X., Li Y., Li W., Pei X. Ye D. (2023). Chitosan derived efficient and stable Pd nano-catalyst for high efficiency hydrogenation, *International Journal of Biological Macromolecules*, — 241: — 124615. — DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.124615 (in Eng.).

Zhou J., Yang X., Wang Y., Chen W. (2014). An efficient oxidation of cyclohexane over Au@TiO₂/MCM-41 catalyst prepared by photocatalytic reduction method using molecular oxygen as oxidant, *Catalysis Communications*, — 46: — 228–233. — DOI: 10.1016/j.catcom.2013.12.026 (in Eng.).

CONTENTS

A. Abdullin, N. Zhanikulov, B. Taimasov, E. Potopova, A. Raisova
INVESTIGATION OF THE MICROSTRUCTURE OF SYNTHESIZED
ZINC-PHOSPHATE CEMENT CLINKER.....7

G.F. Sagitova, N.B. Ainabekov, Yu.A. Nifontov, N.M. Daurenbek
SELECTION OF RAW MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF BITUMEN
MATERIALS BASED ON LOCAL RESOURCES.....19

Kh. Akimzhanova, A. Sabitova, Zh. Kairbekov, B. Mussabayeva, B. Bayahmetova
CHEMICAL CHARACTERISTIC OF THE BLACK AND WHITE MUD
OF THE SHOSHKALY LAKE.....31

**A.S. Auyezkhanova, D.E. Zhanuzak, A.I. Jumekeyeva, Zh.K. Korganbaeva,
A.A. Naizabayev**
CHITOSAN-STABILIZED CATALYSTS FOR CYCLOHEXANE OXIDATION
TO KA-OIL.....44

Ya.A. Vissurkhanova, L.K. Abulyaissova, N.M. Ivanova, B.F. Minaev
MOLECULAR SIMULATION OF THE INTERACTION OF POLYVINYL
ALCOHOL WITH POTENTIAL ACTIVE CENTERS OF COPPER (II)
OXIDE SURFACE.....54

E.A. Gabrilyants, R.S. Alibekov, G.E. Orymbetova
DEVELOPMENT OF CAMEL MILK CHEESE TECHNOLOGY
AND RESEARCH OF QUALITATIVE CHARACTERISTICS.....69

**G.T. Yelemessova, L.K. Orazzhanova, A.N. Klivenko, N.N. Nurgaliyev, A.Ye.
Ayazbayeva, A.V. Shakhvorostov**
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF PREFORMED PARTICLE
GELS (PPG) TO INCREASE OIL RECOVERY.....79

E.A. Zhakmanova, G.Zh. Seytenova, R.M. Dyusova
REVIEW OF THE CURRENT STATE OF APPLICATION OF MATHEMATICAL
MODELING METHODS FOR THE PURPOSE OF OPTIMIZING REFINERIES
IN KAZAKHSTAN AND ABROAD.....92

**M. Zhumabek, K. Kassymkhan, R.O. Sarsenova, Zh. Tynybek, S.A. Tungatarova,
Z.T. Zheksenbaeva**
INVESTIGATION OF CATALYSTS OF THE CATALYTIC PROCESSING
OF NATURAL GAS METHANE INTO SYNTHESIS GAS VIA
TEMPERATURE-PROGRAMMED DESORPTION.....103

M. Ibrayeva, N. Duzbayeva, Zh. Mukazhanova, K. Kabdysalym, Achyut Adhikari ISOLATION OF FLAVONOIDS BY HIGH-PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY FROM PLANT OF GENUS THYMUS SERPYLLUM L.	116
B. Imangaliyeva, B. Dossanova, G. Rakhmetova, A. Apendina, I. Nurlybaev FEATURES AND CHEMICAL PROPERTIES OF ANTHOCYANINS.....	124
B.Zh. Iskendirov, G.F. Sagitova, S.B. Kurbanova, G.F. Aitimbetova, A.S. Sadyrbayeva DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PROCESSING RESIDUES FROM THE DISTILLATION OF A MIXTURE OF OILS AND GAS CONDENSATES.....	144
X.A. Leontyeva, D.S. Puzikova, G.M. Khussurova, P.V. Panchenko, A.K. Galeyeva ELECTROCHEMICAL DEPOSITION OF BISMUTH SULFIDE THIN FILMS.....	158
M.M. Mataev, M.A. Nurbekova, B. Keskin, Z.B. Sarsenbayeva SYNTHESIS AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF POLYCRYSTAL $\text{FeMnO}_3\text{-Ho}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$	173
R. Safarov, Zh. Shomanova, E. Kopishev, Yu. Nossenko, Zh. Bexeitova, R. Kamatov SPATIAL DISTRIBUTION OF PM2.5 AND PM10 POLLUTANTS IN RESIDENTIAL AREA OF PAVLODAR, KAZAKHSTAN.....	181

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

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.

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)**

Подписано в печать 30.12.2023.
Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
13,0 п.л. Тираж 300. Заказ 4.