

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

**ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№1**  
**2026**

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

2026 • 1



**ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND  
CHEMICAL SCIENCES**

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

## EDITOR-IN-CHIEF

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

## DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

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

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

## EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES.

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

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

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

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

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

## БАС РЕДАКТОР

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

## БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЛАРЫ:

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

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

## РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

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

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

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

Тақырыптық бағыты: *физика, химия.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

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

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

## ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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

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

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

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

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

Свидетельство № KZ93VPY00121157 о повторной регистрации периодического печатного издания информационного агентства, информационного агентства и сетевого издания, выданное Республиканским государственным учреждением «Комитет информации» Министерства культуры и информации Республики Казахстан **05.06.2025**Тематическая направленность: *физика, химия*.

Периодичность: 4 раза в год.

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

CONTENTS

PHYSICS

**Aimaganbetova Z.K., Kulshymbayev Y.A., Zhanturina N.N., Beketova G.K.**  
First-principles calculation of the electronic properties of the Double Halide Perovskite  $\text{Cs}_2\text{Ag}_{0.2}\text{Na}_{0.4}\text{In}_{0.6}\text{Ti}_{0.4}\text{Cl}_6$  based on the quantum ESPRESSO software.....14

**Amangeldinova S., Zhuniskhan S., Kalzhigitov N., Kurmangaliyeva V.**  
Study of the cluster structure of  $^5\text{He}$  and  $^5\text{Li}$  mirror nuclei in two-cluster approximation.....35

**Chokin K., Otunchi Ye., Kozhahmetova A., Kasenova A., Shongalova A.**  
Development and testing of a laboratory pyrometallurgical installation for recycling lithium-ion batteries.....46

**Issayeva A., Beisebayeva A., Madybekova G., Shynazbekova Sh., Issa A.**  
Comparative analysis of physico-chemical characteristics of drinking, spring and natural water in the South Kazakhstan.....65

**Kim V.Yu., Aimuratov Y.K.**  
Search for transient cosmic events by scanning the sky with wide-field telescopes.....78

**Koshtybayev T.B., Tatenov A.M., Aliyeva M.E., Tugelbaeva G.T., Zhanaliyeva G.Zh.**  
Study of the electromagnetic field based on thermodynamics principles.....89

**Mukamedenkyzy V., Akberdiyev B.**  
Numerical investigation of the effect of inclination angle on the stability of mechanical equilibrium in Ar–N<sub>2</sub> binary gas mixtures.....105

**Myasnikova L.N., Uzakbaeva S.S., Shanina Z.K., Bekeshev A.Z.**  
Kinetic properties of high-density polyethylene filled with chromium spinel powder.....119

**Nurbayev B.M., Dmitriyeva E.A., Kemelbekova A.E.**  
The role of low-dimensional layered structures in enhancing the stability of tin-based perovskite materials.....136

**Sattinova Z., Ermakhanova F., Assilbekov B., Taimuratova L.**  
Influence of various cooling conditions and heat transfer coefficients on solidification during the formation of beryllium ceramic products.....149

**Shestakova L.I., Serebryanskiy A.V., Spassyuk R.R., Omarov Ch.T.**  
Search for gas of comet-meteor origin in the inner Solar System: caii ion emission.....165

**Ualikhanova U., Tursynkazy F., Syzdykova A.M., Altayeva G.S., Altaibayeva A.B.**  
Studying the amplitude of  $f(T)$  gravitational waves using Bessel functions.....179

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

## CHEMISTRY

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

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

## МАЗМҰНЫ

### ФИЗИКА

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

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

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

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

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

### ХИМИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

## ФИЗИКА

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

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

## ХИМИЯ

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

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

ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES  
ISSN 2224-5227  
Volume 1.  
Number 357 (2026), 119–135

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.409>

UDC: 536.6  
IRSTI: 29.19.09

©Myasnikova L.N., Uzakbaeva S.S., Shanina Z.K., Bekeshev A.Z. \*, 2026.

K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan.

E-mail: amirbek2401@gmail.com

## KINETIC PROPERTIES OF HIGH-DENSITY POLYETHYLENE FILLED WITH CHROMIUM SPINEL POWDER

**Myasnikova Lyudmila** — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan,

E-mail: myasnikova\_ln@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3326-7206>;

**Uzakbaeva Sanimai** — Master student, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan,

E-mail: u.sanimai03@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-4075-691X>;

**Shanina Zamzagul** — Master's degree, Senior Lecturer, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan,

E-mail: zshanina@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6394-4821>;

**Bekeshev Amirbek** — Candidate of physical and mathematical sciences, associated professor, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan,

E-mail: amirbek2401@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7038-4631>.

**Abstract.** This paper presents the results of predicting the kinetic properties of composite materials based on high-density polyethylene containing metallurgical waste in the form of chromium spinel powder (HDPE/10%, 20%, 30% CSP) using the Netzsch Kinetics Neo software. Thermogravimetric analysis (TGA) data were used as the initial input. It was established that the reaction occurring during TGA follows a simple first-order (Fn) reaction model. The activation energies of the samples were determined based on the TGA data.

Modeling of isothermal curves, isothermal lifetime curves, and dynamic curves was performed, allowing prediction of several kinetic parameters. In dynamic mode, the system behavior characteristics under conditions simulating a fire scenario were obtained and compared at different heating rates.

The change in thermal stability depending on CSP concentration is non-monotonic. For the sample containing 10% filler, a significant decrease in residual mass at a given temperature and a shift of intensive degradation toward lower temperatures were observed. Increasing the filler concentration to 20% results in higher residual mass compared to the neat sample, indicating a stabilizing effect and the formation of a protective layer. For the samples containing 20% and 30% filler, the differences in

residual mass are insignificant, suggesting that the limiting filler concentration has been reached.

According to lifetime modeling results, compared to the neat polymer, the materials containing CSP demonstrate improved thermal stability with increasing filler content, with the most pronounced positive effect observed for the 20% filled sample.

In dynamic mode, increasing filler concentration leads to higher temperature and longer time required to reach a decomposition degree of 0.7. At low heating rates, the dependence of temperature and time to reach a 0.7 decomposition level on concentration is weak.

The obtained results provide opportunities for the development of new fire-resistant materials with controllable functional properties.

**Keywords:** high-density polyethylene, chromium spinel powder, thermogravimetric analysis, Netzsch Kinetics Neo, activation energy, isothermal lifetime

**Acknowledgments:** *The study was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under project IRN BR24992882 “Development of New Technologies for Processing Industrial Waste to Improve the Environmental Situation in the Region”.*

**For citations:** *Myasnikova L.N., Uzakbaeva S.S., Shanina Z.K., Bekeshev A.Z. Kinetic Properties of High-Density Polyethylene Filled with Chromium Spinel Powder. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences. 2026. No.1. Pp. 119–135. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.409>*

©**Мясникова Л.Н., Узакбаева С.С., Шанина З.К., Бекешев А.З.\***, 2026.

Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан.

E-mail: [amirbek2401@gmail.com](mailto:amirbek2401@gmail.com)

## ХРОМ-ШПИНЕЛЬДІ ҰНТАҚ ҚОСЫЛҒАН ЖОҒАРЫ ТЫҒЫЗДЫҚТЫ ПОЛИЭТИЛЕННІҢ КИНЕТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

**Мясникова Людмила** — физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан,

E-mail: [myasnikova\\_ln@zhubanov.edu.kz](mailto:myasnikova_ln@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-3326-7206>;

**Ұзақбаева Сәнімай** — магистрант, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан,

E-mail: [u.sanimai03@gmail.com](mailto:u.sanimai03@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-4075-691X>;

**Шанина Замзагул** — магистр, аға оқытушы, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан,

E-mail: [zshanina@zhubanov.edu.kz](mailto:zshanina@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-6394-4821>;

**Бекешев Амирбек** — физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан,

E-mail: [amirbek2401@gmail.com](mailto:amirbek2401@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7038-4631>.

**Аннотация.** Бұл мақалада жоғары тығыздықтағы полиэтиленге металлургиялық қалдықтар – хром-шпинельді ұнтақ (ХШҰ) қосылған композитті



материалдардың (HDPE/10%, 20%, 30% ХШҰ) кинетикалық қасиеттерін Netzsch Kinetics Neo бағдарламасы арқылы болжау нәтижелері ұсынылған, ол үшін бастапқы дерек ретінде термогравиметриялық анализ (ТГА) мәліметтері пайдаланылды. ТГА кезінде болатын реакция қарапайым 1ші ретті  $F_n$  реакциясына сәйкес келеді. ТГА деректері бойынша үлгілердің активациялық энергиялары анықталды. Netzsch Kinetics Neo бағдарламасында изотермиялық қисықтар бойынша, изотермиялық қызмет ету уақыты қисықтары және динамикалық қисықтар арқылы бірнеше кинетикалық қасиеттеріне болжам жасалды. Әсіресе, динамикалық режим кезінде әртүрлі қыздыру жылдамдығын бекіте отырып, өрт кезіндегі жүйе сипаттамалары алынып, салыстырылды.

ХШҰ концентрациясына байланысты термиялық тұрақтылықтың өзгеруі монотонды емес. 10% ХШҰ қосылған үлгінің қалдық массасы аталған температурада айтарлықтай төмендеп, қарқынды деградация төменгі температураларға ауысады. Ал толтырғыш концентрациясын 20% дейін арттырғанда, керісінше, үлгінің қалдық массасы таза үлгіге қарағанда артады, бұл толтырғыштың тұрақтандыру әсерін және қорғаныш қабатының түзілуін көрсетеді. 20% және 30% ХШҰ қосылған үлгілерінде қалған массадағы айырмашылықтар айтарлықтай емес, бұл толтырғыштың шекті концентрациясына жеткенін білдіреді.

Қызмет ету уақытын модельдеу нәтижелеріне сәйкес, таза үлгімен салыстырғанда ХШҰ қосылған материал концентрация артқан сайын термиялық тұрақтылығын арттырады, айтарлықтай маңызды оң өзгерістер 20 пайыздық үлгіде көрінеді.

Динамикалық режимде ХШҰ концентрациясы артқан сайын ыдыраудың 0,7 деңгейінен бастап, ыдырау температурасы, уақыты артады. Төмен қыздыру жылдамдықтарында 0,7 ыдырау деңгейіне дейін уақыт, температураның концентрацияға тәуелділігі аса байқалмайды.

Зерттеу нәтижелері басқарылатын функционалды қасиеттерге ие жаңа өртке төзімді материалдарды алуға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** жоғары тығыздықты полиэтилен, хром-шпинелді ұнтақ, термогравиметриялық анализ, Netzsch Kinetics Neo, активация энергиясы, изотермиялық қызмет ету уақыты

©Мясникова Л.Н., Узакбаева С.С., Шанина З.К., Бекешев А.З.\* , 2026.

Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,

Актобе, Казахстан.

E-mail: amirbek2401@gmail.com

## КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПЛОТНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА С ДОБАВЛЕНИЕМ ХРОМ-ШПИНЕЛЬНОГО ПОРОШКА

Мясникова Людмила — кандидат физико-математических наук, доцент, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актобе, Казахстан,  
E-mail: myasnikova\_ln@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3326-7206>;

**Узакбаева Санитай** — Магистрант, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актюбе, Казахстан,

E-mail: u.sanimai03@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-4075-691X>;

**Шанина Замзагул** — магистр, старший преподаватель, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актюбе, Казахстан,

E-mail: zshanina@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6394-4821>;

**Бекешев Амирбек** — кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актюбе, Казахстан,

E-mail: amirbek2401@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7038-4631>.

**Аннотация.** В статье представлены результаты прогнозирования кинетических свойств композитных материалов на основе высокоплотного полиэтилена с добавлением металлургических отходов - хромшпинельного порошка (HDPE/10 %, 20 %, 30 % ХШП) - с использованием программы Netzsch Kinetics Neo. В качестве исходных данных использованы результаты термогравиметрического анализа (ТГА). Установлено, что реакция, протекающая при ТГА, соответствует простой реакции первого порядка (Fn). На основе данных ТГА определены значения энергии активации образцов. Выполнено моделирование изотермических кривых, кривых срока службы в изотермическом режиме, а также динамических кривых, что позволило спрогнозировать ряд кинетических параметров. В динамическом режиме при различных скоростях нагрева получены и сопоставлены характеристики поведения системы в условиях, моделирующих пожарную ситуацию. Изменение термической стабильности в зависимости от концентрации ХШП носит немонотонный характер. Для образца с 10 % наполнителя наблюдается существенное снижение остаточной массы при заданной температуре и смещение интенсивной деградации в область более низких температур. При увеличении концентрации до 20 % остаточная масса возрастает по сравнению с чистым образцом, что свидетельствует о стабилизирующем эффекте наполнителя и формировании защитного слоя. Для образцов с 20 % и 30 % наполнителя различия в остаточной массе незначительны, что указывает на достижение предельной концентрации наполнителя. Согласно результатам моделирования срока службы, по сравнению с чистым образцом материалы с добавлением ХШП демонстрируют повышение термической устойчивости с ростом концентрации наполнителя, при этом наиболее выраженный положительный эффект наблюдается для образца с 20 % ХШП. В динамическом режиме с увеличением концентрации наполнителя возрастают температура и время достижения степени разложения 0,7. При низких скоростях нагрева зависимость температуры и времени достижения степени разложения 0,7 от концентрации выражена слабо. Полученные результаты открывают возможности для разработки новых огнестойких материалов с управляемыми функциональными свойствами.

**Ключевые слова:** высокоплотный полиэтилен, хром-шпинельный порошок, термогравиметрический анализ, Netzsch Kinetics Neo, энергия активации, изотермическое время жизни

**Кіріспе.** Жоғары тығыздықтағы полиэтилен (HDPE) - термопласттардың бір түрі, жоғары беріктікке және тығыздыққа ие материал. Бұл материалда тізбектері аз таралғандықтан, молекулалар бір біріне жақын орналасқан соң, жоғары берікті болып есептелінеді. Өзінің химиялық заттарды, ылғалды өткізбеу қасиетіне қарай, түрлі құбырлар, ыдыстар және қаптамалар жасауға қолданылады. Осы механикалық және қолайлы химиялық қасиеттеріне қарай, одан жасалған әрбір зат ұзақ уақыт қызмет етеді. Сонымен қатар HDPE салыстырмалы түрде жеңіл және бағасы арзан, бұл оны кең таралған материалға айналдырады. Тамақ өнеркәсібінде де жоғары тығыздықтағы полиэтилен салыстырмалы түрде қауіпсіз материал болып есептелінеді және қайта өңдеуге келеді (Marcel et al., 2023; Menzel et al., 2022).

Жоғары тығыздықтағы полиэтиленге минералды және функционалды модификаторларды қосу бұл оның эксплуатациялық қасиеттерін мақсатты түрде өзгертудің тиімді әдістерінің бірі болып келеді. Өте жақсы химиялық, механикалық қасиеттеріне орай, оның да кейбір кемшіліктері бар. Мысалы, термиялық тұрақтылығы шектелген және термоқышқылдану деструкцияға ие болып келеді. Органикалық емес толтырғыштарды қосу материалдың термиялық тұрақтылығын, ыдырау үрдістерін тежеуге, және осы үрдісттерге қатысты кинетиканы өзгертуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, модификаторлар полимерлік матрицаның беріктігін арттырып, композиттердің барьерлік қасиеттерін арттыруға мүмкіндік береді. Кейбір жағдайларда мин.ерал толтырғыштар жылытқан кезде қорғаушы қабат жасақтап, масса жоғалтуын және жылу шығаруын бәсеңдетеді. Сондықтан, модификаторларды қолдану басқарылатын термофизикалық және термиялық сипаттамалары бар полиэтилендік композиттерді жасақтауға мүмкіндік береді (Gao et al., 2022; Kukaleva et al., 2004; Runzhou et al., 2013).

Соның ішінде қайта өңдеу үрдістерінің ең пайдалысы – ол әртүрлі қалдықтарды, әсіресе металлургиялық өндірістердің қалдықтарын полимерлерді модификациялауға пайдалану (Huziazmetova et al., 2024). Зерттеуде біз хром-шпинелді ұнтақты (ХШҰ) HDPE модификациялауға пайдаландық.

ХШҰ бұл металлургиялық үрдістің қалдығы болып келеді және термиялық тұрақты, химиялық инертті материал. Металлургиялық өндірісте металлдарды балқытқан кезде жоғары температуралы хром және алюминий оксидтерінің реакциясы кезінде пайда болады немесе балқытпаларда қорғайтын пленка ретінде пайда болады. Қалдықтар кезінде оларға әртүрлі бөгде шаң тозаңдар қосылады. Дегенмен, бұл қосылыстарға қарамай, ұнтақ өз қасиеттерін жоймайды. Өзінің жоғары балку температурасына, механикалық беріктігіне сәйкес, ол көптеген кермикалық композицияларында, өртке төзімді материалдарда және функционалды беттерде қолданады (Roger et al., 2022; Shtyka et al., 2021).

Осы күнге дейін осы ұнтақты полимерлерге модификатор ретінде пайдаланған зерттеулер жеткіліксіз. Жоғары тығыздықтағы полиэтилен өзінің функционалды қасиеттеріне қарай және хром шпинелдік ұнтақтың термиялық тұрақтылығы бір композит болғанда басқарылатын физика химиялық қасиеттерге ие болады, сондықтан да осы мақалада әртүрлі концентрациядағы ХШҰ қосылған жоғары

тығыздықтағы полиэтиленнің кинетикалық қасиеттерін анықтау болашақта құрылыс, өртке төзімді материалдар индустриясында пайдаланатын жаңа материалдарға серпіліс беруі мүмкін.

Мақаламызда негізгі нәтижелерді кинетикалық болжау әдісімен алынды. Бұл әдіс арқылы полиэтиленнің күрделі ыдырау жолын модельдеуге болады. Жалпы реакция кинетикасын модельдеу активация энергияларын, Аррениус коэффициенттерін, реакция түрін анықтап, изотермиялық, динамикалық, адиабатты режимдер кезінде қызмет ету уақытын, деградация сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік береді (Sobek et al., 2020). Соның ішінде біз қолданған бағдарлама - Netzsch Kinetics Neo, дифференциалды сканерлеуші калориметрия, термогравиметриялық анализ (ТГА) деректеріне негізделіп кинетикалық модельдер құрастыруға мүмкіндік береді. Kinetics Neo бағдарламада модельдеу арқылы тек зерттеушілік аспектілерді шешумен қатар, практикалық қолдану сұрақтарын да қарастыруға болады. Хартер өз жұмысында жоғары тығыздықтағы полиэтиленнің кристалдану деректерін пайдаланып, инъекциялық қалыптау параметрлерін оңтайландыруға пайдаланған (Harter et al., 2022; Manic et al., 2020). Пател жоғары және төмен тығыздықтағы полиэтиленнің кристалдану кинетикасын зерттеу арқылы әртүрлі жағдайлардағы кинетикалық сипаттамаларды өзгеруін тіркеп, практикалық ұсыныстар жасақтаған (Patel et al., 2012).

Мақалада жоғары HDPE 10%, 20%, 30% ХШҰ қосылған композитті материалдардың ТГА деректерін қолдана отырып кинетикалық модельдеу нәтижелері келтірілген.

Материалдар және әдістер. Композит матрицасы ретінде «Лукойл» мұнай компаниясы шығарған жоғары тығыздықтағы полиэтилен (HDPE, 277-73 маркасы) пайдаланылды (Мәскеу, Ресей). Техногендік қалдық толтырғыш (Хром шпинелді ұнтақ) ретінде Ақтөбе феррокорытпа зауытының газ тазарту жүйесінен жиналған шаң қолданылды (Ақтөбе, Қазақстан).

Рентген флуоресцентті анализ S6 Jaguar (Bruker) приборында зерттелген ХШҰ химиялық құрамы 1-кестеде пайыздық үлеспен көрсетілген:

1-кесте. ХШҰ-ның химиялық құрамы (%)

Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	NiO	SO <sub>3</sub>	Cl	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	т.б
29.09	25.43	15.45	8.88	1.81	1.74	6.93	0.98	0.17	1.50	1.03	0.15	2.24	4,6

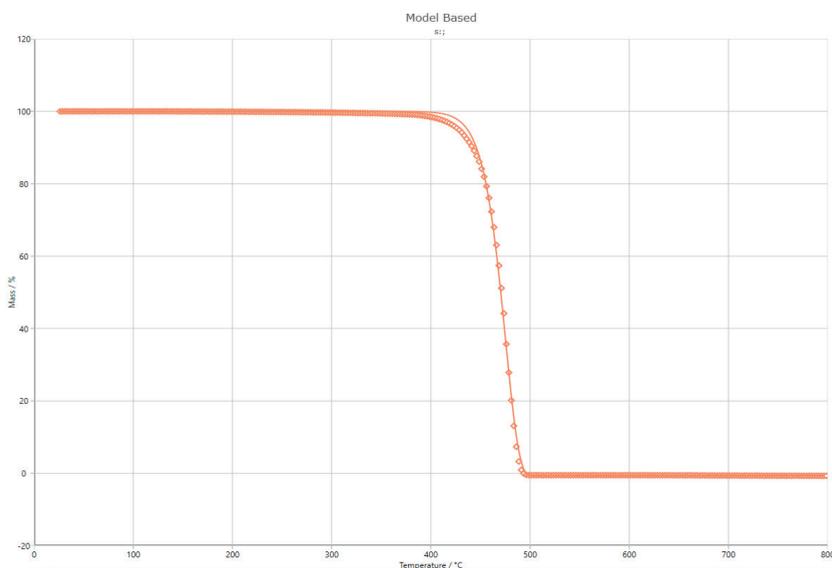
HDPE композиттері бірдей технологиялық процедуралар негізінде 10%, 20%, 30% толтырғыш қосылып, біркелкі дайындалды. HDPE гранулаларын ХШҰ ұнтағымен электрлеу үшін кофемолкада 3 мин.утқа өңделді. Толтырғыштарды полимерлі матрицаға ыстық балқыма экструзиясы (hot-melt extrusion) әдісімен енгізу арқылы үлгілер алынды. Экструзия екі шнекті экструдерде (Micro 5 cc Twin Screw Compounder, Xplore, Нидерланды) жүргізілді. Өңдеу температурасы құрамына байланысты өзгертіліп, таза HDPE үшін 180°C, HDPE/10% ХШҰ үшін 210°C, HDPE/20% ХШҰ үшін 220°C, ал HDPE/30%ХШҰ үшін 230°C болды. Экструдер роторының айналу жылдамдығы 50 айн/мин. (rpm) болды.

Экструзиядан кейін алынған жіпше гранулаларға (түйіршіктерге) айналдырылды. Одан кейін үлгілер қысыммен құю (injection molding) әдісі арқылы дайындалды. Қысыммен қалыптау машинасында (Injection molding 5.5 cc, Xplore, Нидерланды) қалыптың температурасы 30°C, инжектор температурасы таза HDPE үшін 180°C, HDPE/10%ХШҰ үшін 210°C, HDPE/20%ХШҰ үшін 220°C, ал HDPE/30%ХШҰ үшін 230°C, ал қысым 8 бар деңгейінде орнатылды.

Термогравиметриялық анализ TG 209 F1 Libra NETZSCH (Германия) приборында бөлме температурасынан 800 градусқа дейін 40 мл/мин. инертті азот газының ағынында динамикалық қыздырылды. Қыздыру жылдамдығы 10 К/мин..

**Кинетикалық талдау** NETZSCH Kinetics-Neo (Германия) бағдарламасында жүргізілді.

Нәтижелер және талқылау. Термогравиметриялық анализ құрылғысы арқылы негізгі 3 үлгінің нәтижесі алынды. Келесі суретте таза үлгінің нәтижесі келтірілген.



1-сурет. HDPE ТГА қисығы

Мұнда Х осі бойынша температура, ал У осі бойынша үлгінің массасының өзгеруі көрсетілген. Үлгінің күрт массасының жоғалуы 400 градустан басталып 496 градусқа дейін жалғасады. Реакция қарапайым 1-ші ретті F<sub>n</sub> реакциясына сәйкес келеді.

1. F<sub>n</sub> — an n-is order reaction, where the reaction rate is proportional to the degree of conversion.

Реакция келесі формулаға сәйкес келеді

$$d\alpha/dt = k \cdot (1-\alpha)^n$$

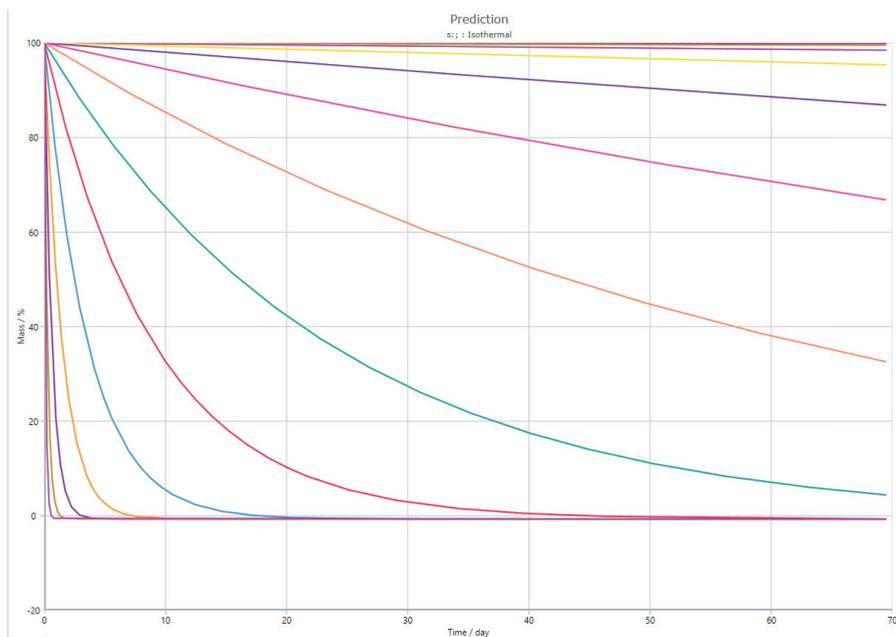
мұнда  $\alpha$  бұл ыдырау деңгейі,  $k$  – жылдамдық тұрақтысы.

HDPE 10%, 20%,30% үлгілерінің ТГА пішіні бірінші ретті реакцияға сәйкес келеді.

Модельдеудің нәтижесі бойынша таза үлгінің реакциясының активациялық энергиясы 312 кДж/моль, ал 10% үлгінде – 321 кДж/моль. Реакция типіне негізделе отырып, осы үлгінің кинетикалық қасиеттерін болжауға мүмкіндік туды. 20% ХШҰ құрамына ие үлгінің реакциясының активациялық энергиясы 336 кДж/моль, ал 30% үлгінде – 337 кДж/мольге тең. Активациялық энергия мықты коваленттік байланыстардың үзілуіне, кейінгі ыдырауына және ұшқыш көмірсутектердің бөлінуіне сәйкес келеді.

Изотермиялық қисықтар арқылы болжау. 2-суретте таза полиэтиленнің болжамдық изотермиялық қисықтары көрсетілген. Қалған үлгілердің де қисықтарының пішіндері бірдей, параметрлері әртүрлі.

X осінде – полиэтиленнің қалған массасы, Y осінде – қыздыру уақыты көрсетілген. Әр түрлі қисықтар әр түрлі температураларда жүргізілген ТГА қисықтарын білдіреді. Болжамдағы уақыт аралығы шамамен 2 айды құрады, қарастырылған температуралар 410 °C-қа дейінгі диапазонда болды.



2-сурет. HDPE изотермиялық қисықтары

Таза үлгінің изотермиялық қисықтары массаның 5%-ға дейінгі жоғалуы 310 °C температурада басталатынын көрсетті. Әр түрлі температураларда 70 күн ішінде қалған массалар келесідей: 320 °C – 86%, 330 °C – 66%, 340 °C – 32%, 350 °C – 4%. 360 °C-тен бастап толық масса жоғалуы байқалады: 360 °C – 42 күн, 370 °C – 17 күн, 380 °C – 7 күн, 390 °C – 2 күн. ХШҰ концентрациясының 10%-дан 20%-ға дейін артуы үлгінің қалған массасының температура өскен сайын едәуір

жоғарылауына әкеледі. 20% және 30% үлгілердің нәтижелері салыстырмалы, қалған масса артқанымен елеулі өзгерістер тіркелмеген.

Моделдеу нәтижелеріне сүйенсек, 10% үлгінде елеулі масса жоғалуы 300 °C температурада басталады, ал екі ай ішінде үлгінің 10% массасы жоғалады. Температура мен қалған масса арасындағы байланыс келесідей: 310 °C – 76%, 320 °C – 43%, 330 °C – 9%. 340 °C-та негізгі массаның жоғалуы 50 күн ішінде жүреді, 350 °C – 20 күн, 360 °C – 9 күн, 370 °C – 3 күн.

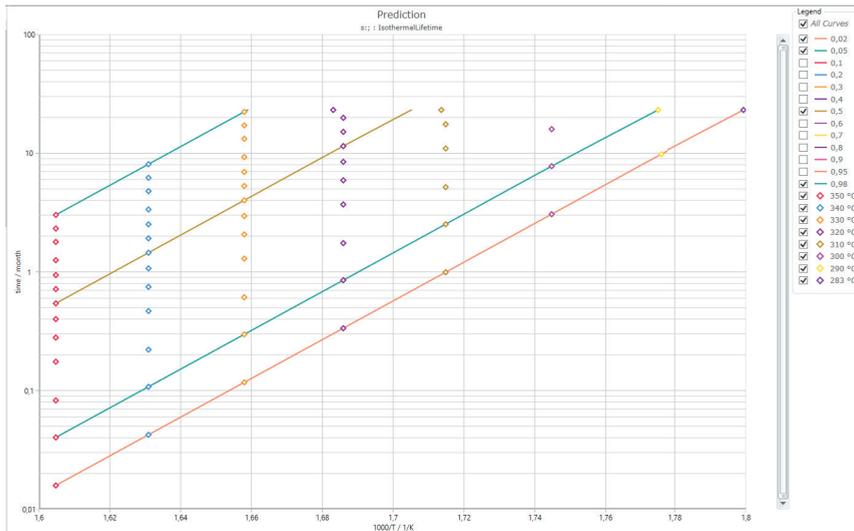
20% үлгісінде елеулі масса жоғалуы 320 °C температурада басталады, ал екі ай ішінде үлгінің 7% массасы жоғалады. Температура мен қалған масса арасындағы байланыс келесідей: 330 °C – 82%, 340 °C – 57%, 350 °C – 25%. 360 °C-та негізгі массаның жоғалуы 2 ай ішінде жүреді, 370 °C – 24 күн, 380 °C – 10 күн, 390 °C – 2 күн.

30% үлгінде елеулі масса жоғалуы да 320 °C-та басталады, ал екі ай ішінде үлгінің 6% массасы жоғалады. Температура мен қалған масса арасындағы байланыс: 330 °C – 83%, 340 °C – 59%, 350 °C – 30%. 360 °C-та негізгі масса жоғалуы 62 күн, 370 °C – 24 күн, 380 °C – 10 күн, 390 °C – 3,5 күн.

Изотермиялық қисықтарды талдауда ХШҰ концентрациясына байланысты термиялық тұрақтылықтың өзгеруі монотонды емес. Мысалы, 10% ХШҰ кезінде үлгінің қалған массасы аталған температурада айтарлықтай төмендеп, қарқынды деградация төменгі температураларға ауысады. Бұл толтырғыш бетінің каталитикалық әсерімен байланысты болуы мүмкін; 10% ХШҰ полимерлік матрицаның тұтастығын бұзады. Ал толтырғыш концентрациясын 20% дейін арттырғанда, керісінше, үлгінің қалған массасы таза үлгіге қарағанда артады, бұл толтырғыштың тұрақтандыру әсерін және қорғаныш қабатының түзілуін көрсетеді. 20% және 30% ХШҰ үлгілерінде қалған массадағы айырмашылықтар айтарлықтай емес, бұл толтырғыштың шекті концентрациясына жеткенін білдіреді.

Изотермиялық қызмет ету уақыты. NETZSCH Kinetics Neo бағдарламалық қамтамасыз етуін қолдану арқылы әзірленген кинетикалық модель негізінде материалдың қызмет ету мерзіміне изотермиялық модельдеу жүргізілді. Модельдеу 10 °C–тан 400 °C–қа дейінгі әртүрлі температураларда,  $\alpha = 0,02$ -ден 0,98-ге дейінгі түрлену дәрежелері үшін орындалды (3-сурет). Мұнда  $\alpha = 0,02$  материалдың ыдырауының басталуын,  $\alpha = 0,05$  функционалдық қасиеттерінің жоғалуын, ал  $\alpha=0,5$  материалдың жартысының, 0,98 – толық ыдырауын білдіреді.

Келесі суретте таза толтырғышсыз үлгінің қызмет ету уақытының қисықтары көрсетілген.



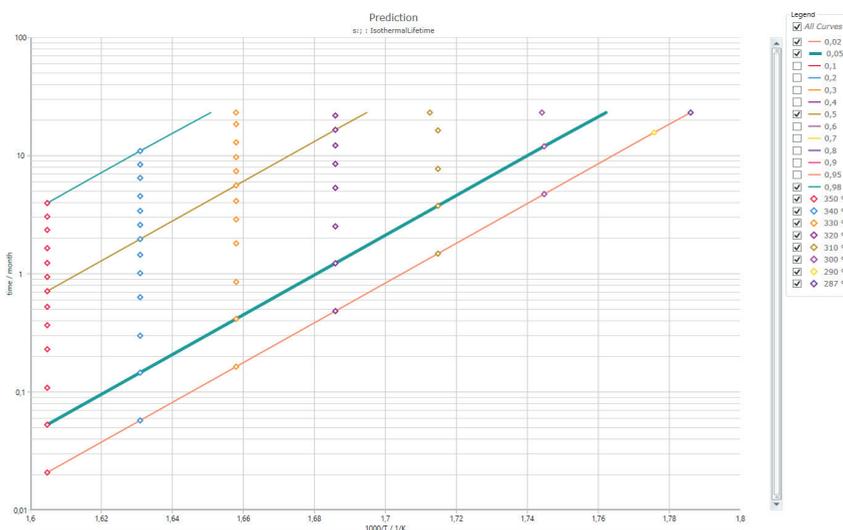
3-сурет. Таза полиэтиленнің кинетикалық қызмет ету уақыты қисықтары

Таза үлгіде бастапқы 283 градуста бастапқы ыдырау 2 жылға жуық уақытта, 290 – 9 ай, 300 – 3 ай, 310 – 1 айға жетер жетпес уақытта, 320-9 күнде, 330 – 3 күн, 340 – 1 күн, 350 – 11 сағатта.

Функционалдық қасиеттерін жоғалту уақытына келетін болсақ, онда сәйкесінше 290 – 2 жыл, 300 – 7,7 ай, 310 – 2,5 ай, 320 – 25 күн, 330 – 9 күн, 340 -3 күн және 350 – 1,2 күн.

Таза үлгіде жартылай ыдырау 320 градуста 1 жылға жуық уақытта, 330 – 4 ай, 340 – 1,5 ай және 350 – 15 күнде.

Толық ыдырау 330 градуста 22 айда, 340 – 8 айда, 350 – 3 айда жүреді.



4-сурет. HDPE/10%ХШҰ кинетикалық қызмет ету уақыты қисықтары



Мұнда  $\alpha=0,02$  материалдың ыдырауының басталуын,  $\alpha = 0,05$  функционалдық қасиеттерінің жоғалуын, ал  $\alpha=0,5$  материалдың жартысының,  $0,98$  – толық ыдырауын білдіреді.

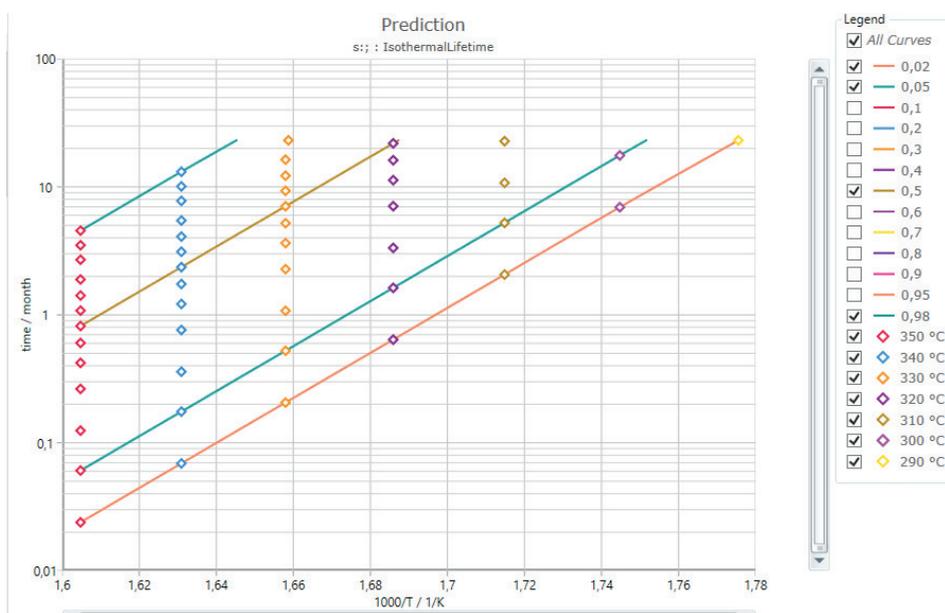
4-суреттен көріп тұрғандай, материалдың ыдырауы  $270$  градус температуралардың маңынан басталады,  $287$  градуста  $2$  жылға жуық мерзімде,  $290$  –  $15$  айда,  $300$  –  $4,7$  айда,  $310$  –  $1,5$  айда,  $320$  – жарты айда,  $340$ - $2$ күнге жуық мерзімде,  $350$  –  $15$  сағатта материалдың бастапқы ыдырауы басталады.

Функционалдық қасиеттерінің жоғалуы  $300$  градуста  $1$  жылда,  $310$  градуста –  $3$  айда,  $320$  –  $35$  күнде,  $330$ - $13$  күнде,  $340$ - $4$  күнде және  $350$  –  $1,5$  күнде орын алады.

Материалдың жартысының ыдырау мерзімін анықтайтын болсақ:  $320$  градус –  $16$  айда,  $330$  –  $5,6$  айда,  $340$ - $2$  айда,  $350$  –  $20$  күн.

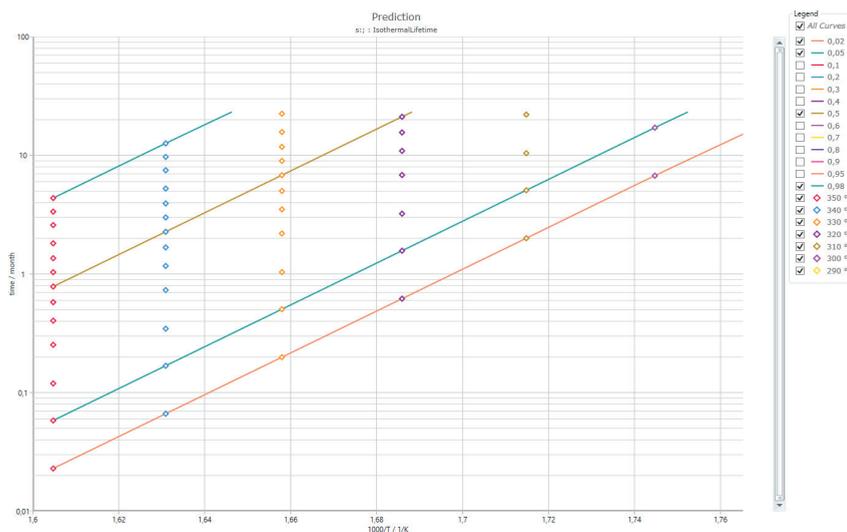
$340$  градуста үлгі  $11$  айда,  $350$  градуста –  $4$  айда толық ыдырауға ұшырайды.

Келесі суретте HDPE/20%ХШҰ пайыз үлгінің изотермиялық қызмет ету уақыты қисықтары көрсетілген.



5-сурет. HDPE/20%ХШҰ кинетикалық қызмет ету уақыты қисықтары

Ыдырау басталатын уақыт:  $300$  градуста –  $7$  ай,  $310$  –  $2$  ай,  $320$  - $20$  күнге жуық.  $330$  –  $15$  күн,  $340$  –  $7$  күн,  $350$  –  $17$  сағат. Қасиеттерін жоғалту:  $300$  градуста –  $17$  ай,  $310$  –  $5$  ай,  $320$  - $1,5$  ай.  $330$  –  $15$  күн,  $340$  –  $5$  күн,  $350$  –  $2$  күн. Жартылай ыдырау периоды:  $320$  - $22$  ай.  $330$  –  $7$  ай,  $340$  –  $2$  ай,  $350$  –  $24$  күн. Толық ыдырау  $340$  градуста  $1$  жылға жуық мерзімде,  $350$  –  $4,5$  айда орын алады.



6-сурет. HDPE/30%ХШҰ кинетикалық қызмет ету уақыты қисықтары

Ыдырау басталатын уақыт: 300 градуста – 6,7 ай, 310 – 2 ай, 320 -20 күнге жуық. 330 – 6 күн, 340 – 2 күн, 350 – 16 сағат.

Қасиеттерін жоғалту: 300 градуста – 17 ай, 310 – 5 ай, 320 -1,5 ай. 330 – 15 күн, 340 – 5 күн, 350 – 2 күн. Жартылай ыдырау периоды: 320 -21 ай. 330 – 6,8 ай, 340 – 2,2 ай, 350 – 23 күн.

Толық ыдырау 340 градуста 1 жылға жуық мерзімде, 350 – 4,3 айда орын алады. 20 пайыз ХШҰ және 10 пайыз ХШҰ айтарлықтай айырмашылық байқалмайды.

HDPE/10%ХШҰ үлгімен HDPE/20%ХШҰ үлгісінің қызмет ету уақыттарын салыстыру кестесін келтірейік.

2-кесте. HDPE/10%ХШҰ үлгімен HDPE/20%ХШҰ үлгісінің қызмет ету уақыттарын салыстыру кестесі

Пайыз	0,02		0,05		0,5		0,98	
Таза	300	3 ай	300	7,7 ай	300		300	
	310	1 ай	310	2,5 ай	310		310	
	320	9 күн	320	25 күн	320	1 жыл	320	
	330	3 күн	330	9 күн	330	4 ай	330	22 ай
	340	1 күн	340	3 күн	340	1,5 ай	340	8 ай
	350	11 сағат	350	1,2	350	15 күн	350	3 ай
10%	300	4,7 ай	300	1 жыл	300	-	300	
	310	1,5 ай	310	3 ай	310	-	310	
	320	0,5 ай	320	35 күн	320	16 ай	320	
	330		330	13 күн	330	5,6 ай	330	
	340	2 күн	340	4 күн	340	2 ай	340	11 ай
	350	15 сағат	350	1,5 күн	350	20 күн	350	4 ай



20%	300	6,7 ай	300	17 ай	300		300	
	310	2 ай	310	5 ай	310		310	
	320	20 күн	320	1,5 ай	320	21 ай	320	
	330	6 күн	330	15 күн	330	6,8 ай	330	
	340	2 күн	340	5 күн	340	2,2 ай	340	1 жыл
	350	16 сағат	350	2 күн	350	23 күн	350	4,3 ай

Кестеде әртүрлі температураларда 0,02, 0,05, 0,5, 0,98 ыдырау деңгейлеріне дейін қызмет ету уақыттары көрсетілген. Толтырылмаған ұшықтар сәйкес температурада берілген ыдырау деңгейіне дейін жетпейтінін білдіреді.

Кестеде көрініп тұрғандай, таза үлгімен салыстырғанда ХШҰ қосылған материал концентрация артқан сайын термиялық тұрақтылығын арттырады, айтарлықтай маңызды оң өзгерістер 20 пайыздық үлгіде көрінеді. Бағдарлама модельдеуі нәтижесі бойынша әрі қарай концентрацияны арттыру қомақты өзгерістерге әкелмейді.

Динамиканы модельдеу нәтижелері. *Зерттелетін үлгілердің температура біртіндеп өзгеріп отырған кезде әртүрлі жылдамдықтардағы сипаттамаларын алдық. Бірінші жоғары жылдамдықтарды қолдандық – 100 К/мин., 200 К/мин., 400 К/мин. Мұндай үлкен жылдамдықтар жану үрдістеріне тән болып келеді.*

3-кесте. Жоғары жылдамдықтардағы үлгі сипаттамалары

Үлгі	Ыдырау басталу температурасы °C			Үлгі массасының 50% жоғалту температурасы			Толық ыдырау уақыты (мин..)		
	100 К/мин	200 К/мин	400 К/мин	100 К/мин	200 К/мин	400 К/мин	100 К/мин	200 К/мин	400 К/мин
таза	443	451	461	504	514	525	0,9	0,53	0,29
10%	438	451	462	502	513	524	5,33	2,7	1,39
20%	439	452	463	500	510	520			
30%	460	464	471	501	511	521			

Кестеден көрініп тұрғандай, әртүрлі үлгілерде ХШҰ концентрациясына байланысты барлығына бірдей заңдылық байқалып тұрған жоқ. Дегенмен, 30 пайыздық үлгіде бастапқы ыдырау температурасы таза, 10%, 20% үлгімен салыстырғанда біршама жоғары. Толық ыдырау уақытына келетін болсақ, таза үлгімен 10 пайыздық үлгіні салыстырғанда, соңғысының ыдырау уақыты 5 есе көп. ХШҰ концентрациясы 20% және 30% термопластта толық ыдырау бағдарлама бойынша тіркелген жоқ, біріншісінде қалдық масса – 13%, екіншісінде – 20%.

Жоғары температураларда реакциялар өз кинетикасымен жүреді, стандартты модельдерге бағынбай кететінін көрсетіп тұр. Барлық үлгілер экстремалды жағдайда критикалық температураға біруақытта жетеді.

Әртүрлі жылыту жылдамдықтарын салыстыру мақсатында сипаттамаларды 5 К/мин., 10

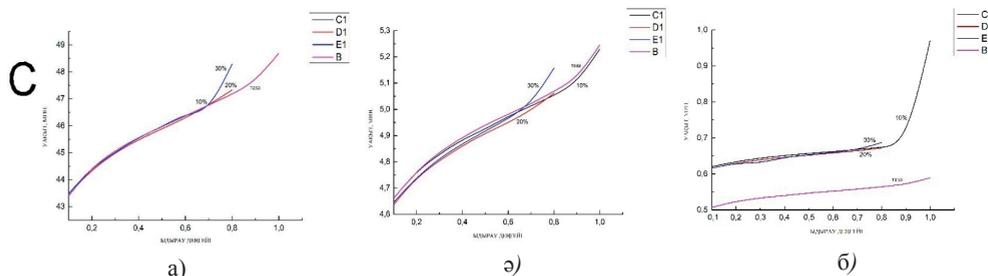
К/мин., 20 К/мин. кезінде модельдеу жасадық.

## 4-кесте. Төмен жылдамдықтардағы үлгілердің сипаттамалары

Үлгі	Ыдырау басталу температурасы °C			Үлгі массасының 50% жоғалту температурасы			Толық ыдырау уақыты (мин.)		
	5 К/мин.	10 К/мин.	20 К/мин.	5 К/мин.	10 К/мин.	20 К/мин.	5 К/мин.	10 К/мин.	20 К/мин.
таза	403	416	420	460	469	480	18	9	4
10%	405	417	421	460	469	480	18	9	5
20%	407	418	422	460	468	478	16	9	5
30%	403	415	420	460	469	479	16	9	5

Мұнда да, ХШҰ концентрациясы тек ыдырау басталу температурасына әсер ететіні байқалып тұр, ХШҰ қосылуы ыдырау температурасын жоғарлатады.

Үлгінің әртүрлі ХШҰ концентрациясында ыдырау деңгейлерінің қандай уақытқа және температураға сәйкес келетінін салыстыру мақсатында изоконверсиялық қисықтарды құрастырдық (7-сурет).

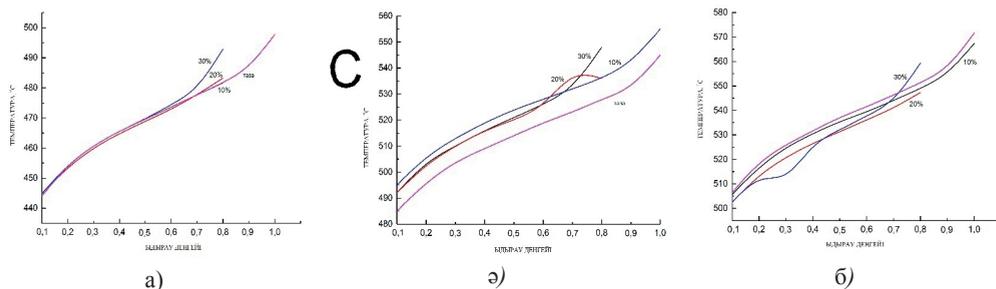


7-сурет. Уақытқа қатысты изоконверсиялық қисықтар  
а) 10 К/мин. ә) 100 К/мин. б) 800 К/мин.

Суреттен көрініп тұрғандай 10 К/мин. жылыту жылдамдығында ыдырау уақыты 43 минуттан 49 минутқа дейін жалғасады. ХШҰ қоспасы бар үлгілердегі ыдырау уақытының тежелуі тек 0,7 деңгейінен ғана біліне бастайды. Бұл айырмашылық әсіресе 30% үлгіде қатты байқалады: 0,8 деңгейде бұл үлгінің ыдырауы таза үлгімен салыстырғанда 1 мин.уттан астам уақытқа кешигеді. Бұл жылдамдық өрт қаупі басталған жағдайға сәйкес келеді.

Жылдамдық 100 К/мин. артқан кезде кіші ыдырау деңгейлерінде уақытта аса айырмашылық білінбейді, 0,7 деңгейден бастап 30% үлгі 2 минутқа дейін айырмашылық көрсетеді, экстремалды жағдайда, әсіресе өрт кезінде бұл айтарлықтай рөл атқарады.

Ал 800 К/мин. жылдамдықта ХШҰ қоспасы материалдың ыдырауына қатты әсерін тигізеді, бұл жылдамдық өрт кезіндегі алаудың орталығында температура өсуіне сәйкес келеді. Мұнда 10 % үлгінің толық ыдырау уақыты 30 секундқа дейін тежеледі. 20% және 30% үлгі толық ыдырауға ұшырамайды, біріншісінің максималды деңгей -0,8, екіншісі – 0,87.



8-сурет. Температураға қатысты изоконверсиялық қисықтар  
а) 10 К/мин. б) 100 К/мин. в) 800 К/мин.

10 К/мин. жылдамдықта ыдырау температуралары 444тен басталып ыдырау деңгейі 0,6-0,7 жеткен кезде концентрацияға қатысты артып келеді. Бұл қосылған ұнтақтың әсерін білдіреді. Жылдамдық 100 К/мин., 800 К/мин. артқан кезде кинетика заңдылығы өзгере бастайды: 100 К/мин. – ұнтақ қосылған үлгілер таза үлгіге қарағанда ыдырау температуралары жоғарырақ болады, бірақ ол концентрацияға пропорционал емес. Мысалы, бұл жылдамдықта төмен ыдырау деңгейлерінде 10 пайыздық полиэтиленнің температурасы жоғары, 20 және 30 пайыз үлгілердікі төмендеу. 800 К/мин. жылдамдыққа келетін болсақ, төмен ыдырау деңгейлерінде концентрацияға пропорционал болып деградация температуралары төмендеп келеді.

Жалпы, барлық графиктерден байқалған дұрыс кинетика уақытқа қатысты да, температураға қатысты да тек ыдыраудың жоғары деңгейлерінен басталады, яғни, концентрация артқан сайын 0,7 деңгейінен бастап, ыдырау температурасы, уақыты артады. Төмен қыздыру жылдамдықтарында 0,7 ыдырау деңгейіне дейін уақыт, температураның концентрацияға тәуелділігі аса байқалмайды. Жоғары жылдамдықтарда айырмашылық біліне бастайды, бірақ ыдыраудың жоғары деңгейлерінде заңдылық айқын болып келеді.

Қорытынды. Жоғары тығыздықтағы полиэтиленге әртүрлі толтырғыштарды қосу полимердің кристалдану кинетикасына және динамикалық механикалық қасиеттеріне әсер етеді, бұл оның өңдеушілігі мен қолдану салалары үшін маңызды. Сондықтан да, мақаладағы үлгілерге әртүрлі эксплуатация жағдайларында қызмет ету мерзімі және термиялық қасиеттері саласында зерттеулер жүргізу өте маңызды.

ТГА кезінде болатын реакция қарапайым 1ші ретті  $F_n$  реакциясына сәйкес келеді.

Таза үлгінің осы реакциясының активациялық энергиясы 312 кДж/моль, ал 10% үлгіде – 321 кДж/моль. 20% ХШҰ құрамына ие үлгінің реакциясының активациялық энергиясы 336 кДж/моль, ал 30% үлгінде – 337 кДж/мольге тең.

ТГА нәтижелерін қолданып, бағдарламада изотермиялық қисықтар бойынша, изотермиялық қызмет ету уақыты қисықтары және динамикалық қисықтар арқылы бірнеше кинетикалық қасиеттеріне болжам жасалды. Әсіресе, динамикалық

режим кезінде әртүрлі қыздыру жылдамдығын бекіте отырып, өрт кезіндегі жүйе сипаттамаларын алып, салыстыруға мүмкіндік береді.

ХШҰ концентрациясына байланысты термиялық тұрақтылықтың өзгеруі монотонды емес. 10% ХШҰ қосылған үлгінің қалған массасы аталған температурада айтарлықтай төмендеп, қарқынды деградация төменгі температураларға ауысады. Ал толтырғыш концентрациясын 20% дейін арттырғанда, керісінше, үлгінің қалған массасы таза үлгіге қарағанда артады, бұл толтырғыштың тұрақтандыру әсерін және қорғаныш қабатының түзілуін көрсетеді. 20% және 30% ХШҰ қосылған үлгілерінде қалған массадағы айырмашылықтар айтарлықтай емес, бұл толтырғыштың шекті концентрациясына жеткенін білдіреді.

Қызмет ету уақытын модельдеу нәтижелеріне сүйенсек, таза үлгімен салыстырғанда ХШҰ қосылған материал концентрация артқан сайын термиялық тұрақтылығын арттырады, айтарлықтай маңызды оң өзгерістер 20 пайыздық үлгіде көрінеді. Бағдарлама модельдеуі нәтижесі бойынша әрі қарай концентрацияны арттыру қызмет ету уақытына қомақты өзгерістерге әкелмейді.

Динамикалық режимде кинетикалық қасиеттерді модельдеу өртке төзімді материалдарды жасақтауға көмегін береді, себебі мұнда қыздырудың әртүрлі жылдамдығын бағдарламада қойып, материалдың деградациясының уақытын және температурасын анықтауға мүмкіндік береді. *Дұрыс кинетика уақытқа қатысты да, температураға қатысты да тек ыдыраудың жоғары деңгейлерінен басталады, яғни, концентрация артқан сайын 0,7 деңгейінен бастап, ыдырау температурасы, уақыты артады. Төмен қыздыру жылдамдықтарында 0,7 ыдырау деңгейіне дейін уақыт, температураның концентрацияға тәуелділігі аса байқалмайды. Жоғары жылдамдықтарда айырмашылық біліне бастайды, бірақ ыдыраудың жоғары деңгейлерінде заңдылық айқын болып келеді.*

#### References

Eck, Marcel, Simon Timm Schwab, Taylor Frederick Nelson, Katrin Wurst, Steffen Iberl, David Schleheck, Christoph Link, Glauco Battagliarin and Stefan Mecking (2022) Biodegradable High-Density Polyethylene-like Material. *Angewandte Chemie International Edition*. <https://doi.org/10.1002/ange.202213438> (in Eng.)

Gao, Wei, Yufeng Li, Jitao Zhao, Zhe Zhang and Weiwei Tang (2022) Influence of surface modification of zinc oxide on physical properties of high-density polyethylene. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 653:130000. (in Eng.)

Harter Alexander G., Thomas M. Klapötke, Jasmin T. Lechner and Jörg Stierstorfer (2022) Kinetic Predictions Concerning the Long-Term Stability of TKX-50 and Other Common Explosives Using the NETZSCH Kinetics Neo Software. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 47. e202200031. (in Eng.)

Huang, Runzhou, Xinwu Xu, Sunyoung Lee, Yang Zhang, Birm-June Kim and Qinglin Wu (2013) High Density Polyethylene Composites Reinforced with Hybrid Inorganic Fillers: Morphology, Mechanical and Thermal Expansion Performance. *Materials*, 6(9). – P. 4122–4138. (in Eng.)

Huziazmetova A., Abdrakhmanova L., Nizamov R., and others (2024) Napolnenie polivinilkhlordnoy smesi polimerov vspuchennym perlitovym peskom [Incorporation of expanded perlite sand as a filler into a polyvinyl chloride (PVC) polymer blend]. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. – 3(69). – P. 6-14. DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.1 (in Russian)

Kukaleva N., G.P. Simon and E. Kosior (2004) Modification of recycled high-density polyethylene by low-density and linear-low-density polyethylenes. *Polymer Engineering & Science*. <https://doi.org/10.1002/pen.10002>. (in Eng.)



Manić N, Janković B. and Dodevski V. (2020) Model-free and model-based kinetic analysis of Poplar fluff (*Populus alba*) pyrolysis process under dynamic conditions. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 143. – P. 3419-3438. (in Eng.)

Menzel, Teresa, Nora Meides, Anika Mauel, Ulrich Mansfeld, Winfried Kretschmer, Meike Kuhn, Eva M. Herzig, Volker Altstädt, Peter Strohrriegl, Jürgen Senker and Holger Ruckdäschel (2022) Degradation of low-density polyethylene to nanoplastic particles by accelerated weathering. *Science of The Total Environment*, 826:154035. (in Eng.)

Patel, R. M. (2012) Crystallization kinetics modeling of high density and linear low density polyethylene resins. *Journal of Applied Polymer Science*, 124(2). – P. 1542-1552. (in Eng.)

Roger S.L., Wan Kamis W.Z., Isa N., Ali Bashah N.A., & Inderan V. (2022). Synthesis and characterizations of chromium-aluminium mixed oxides catalysts to produce FAME. *ESTEEM Academic Journal*, 18(Sept). – P. 120-128. <https://uppp.uitm.edu.my/> (in Eng.)

Shtyka O., Maniukiewicz W., Ciesielski R., & Kedziora A. (2021). The Formation of Cr-Al Spinel under a Reductive Atmosphere. *Materials*, 14(12). – P. 3218. <https://doi.org/10.3390/ma14123218>

Sobek S., Werle S. (2020) Kinetic modelling of waste wood devolatilization during pyrolysis based on thermogravimetric data and solar pyrolysis reactor performance. *Fuel*, 261: 116459. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.116459 (in Eng.).

## **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](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

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

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

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the Central Asian Academic Research Center LLP.

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

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

**[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)**

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

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

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 16.03.2026.

Формат 60x88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.

18,0 п.л. Заказ 1.