

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

## ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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

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

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

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

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

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

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

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

**БОШКАЕВ Куантай Авгазиевич**, 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>

**ТАКИББАЕВ 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 Медеу 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., Spassyyuk R.R., Omarov Ch.T.**  
Search for gas of comet-meteor origin in the inner Solar System: caii ion emission.....165

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

<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>Чокін К., Отунчи Е., Қожахметова 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>Қоштыбаев 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

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

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

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

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

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

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

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

<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., Кожаметова 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 H.T., 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), 251–266

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.418>

UDC: 666.942.8

IRSTI: 65.35.33

©Amangeldi B.<sup>1</sup>, Zhanikulov N.<sup>2\*</sup>, Taimasov B.<sup>1</sup>, Aitureev M.M.<sup>1</sup>,  
Dauletiyarov M.<sup>1</sup>, 2026.

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Academician Ye.A. Buketov Karaganda National Research University,  
Karaganda, Kazakhstan.

E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru

## CALCULATION OF THE RAW MATERIAL COMPOSITION FOR OBTAINING WHITE PORTLAND CEMENT CLINKER

**Amangeldi Bekassyl** — PhD student, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,  
E-mail: bekasy1700@mail.ru, <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0002-3378-6110>;

**Zhanikulov Nurgali** — PhD, associate professor, Academician Ye.A. Buketov Karaganda National  
Research University, Karaganda, Kazakhstan,

E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0750-9753>;

**Taimasov Bakhitzhan** — Doctor of Technical Sciences, Professor, M. Auezov South Kazakhstan  
University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: taimasovukgu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1844-4932>;

**Aitureev Murat** — Candidate technical sciences, associate professor, M. Auezov South Kazakhstan  
University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: murattssm@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8154-0417>,

**Dauletiyarov Mukhtar** — Candidate technical sciences, associate professor, M. Auezov South Kazakhstan  
University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: muhtar-66@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9578-8202>.

**Abstract.** This scientific article presents the results of a study examining the suitability of raw materials required to produce white Portland cement clinker, calculating optimized raw mix compositions, and evaluating the quality of the fired clinker. There is a very high demand globally for high-quality, environmentally friendly, high-strength white Portland cement. This work is relevant both for our country and for global white Portland cement production. This is due to the fact that for the first time, a composition of white Portland cement clinker for decorative and construction work has been developed using Kazakhstani raw materials and industrial waste. In this article, the chemical composition of the raw materials and industrial waste was determined using an X-ray fluorescence spectrometer. The composition of the raw mix was calculated and optimized using the “Shikhta” computer program. The quality of the fired clinker

was determined using the ethylene glycerate method for the content of unbound  $\text{CaO}_{\text{free}}$  in the clinker. The final quality and whiteness of the clinker were determined using the «R3-TBMS-M» instrument. The following raw material batch compositions were calculated: “Limestone+Kokshetau kaolin+electrothermophosphorus slag” and “Limestone+Angren kaolin+electrothermophosphorus slag”. The dependence of clinker on the raw material type, saturation coefficient, silicate and alumina moduli was determined. The feasibility of introducing 5-35% electrothermophosphorus slag into the batch composition to produce white Portland cement clinker was established. In the developed batch compositions from the raw material composition “Limestone+Kokshetau kaolin+electrothermophosphorus slag”, the clinker formation process was completed at a temperature of 1500 °C, and the  $\text{CaO}_{\text{free}}$  content was 0.54-1.62%. The clinker whiteness was 74.1-78.1%. When using a raw material composition of “Limestone+Angren kaolin+electrothermophosphorus slag,” the clinker formation process was completed at a temperature of 1450-1500 °C, and the  $\text{CaO}_{\text{free}}$  content was 0.27-1.35%. The whiteness of the resulting clinker was 71.4-82.1%. As a result, it was proven that all the resulting clinker is suitable for producing class 1 and 2 white cements.

**Keywords:** limestone, kaolin, electrothermophosphoric slag, raw mix, whiteness, clinker, white cement

*For citations: Amangeldi B., Zhanikulov N., Taimasov B., Aitureev M.M., Dauletiyarov M. Calculation of the Raw Material Composition for Obtaining White Portland Cement Clinker. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences. 2026. No.1. Pp. 251–266. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.418>*

©Амангелді Б.<sup>1</sup>, Жаникулов Н.<sup>2\*</sup>, Таймасов Б.<sup>1</sup>, Айтуреев М.<sup>1</sup>,  
Даулетияров М.<sup>1</sup>, 2026.

<sup>1</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан;

<sup>2</sup>Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті,  
Қарағанды, Қазақстан.

E-mail: [nurgali.zhanikulov@mail.ru](mailto:nurgali.zhanikulov@mail.ru)

## АҚ ПОРТЛАНЦЕМЕНТ КЛИНКЕРІН АЛУ ҮШІН ШИКІЗАТ ШИХТА ҚҰРАМЫН ЕСЕПТЕУ

**Амангелді Бекасыл** — PhD докторант, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: [bekasy1700@mail.ru](mailto:bekasy1700@mail.ru), <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0002-3378-6110>;

**Жаникулов Нурғали** — PhD, қауымдастырылған профессор, Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан,

E-mail: [nurgali.zhanikulov@mail.ru](mailto:nurgali.zhanikulov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0750-9753>;

**Таймасов Бахитжан** — техника ғылымдарының докторы, профессор, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: [taimasovukgu@mail.ru](mailto:taimasovukgu@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1844-4932>;

**Айтуреев Мұрат** — техника ғылымдарының кандидаты, доцент, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: [murattssm@mail.ru](mailto:murattssm@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0001-8154-0417>;



**Даулетияров Мухтар** — техника ғылымдарының кандидаты, доцент, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,  
E-mail: muhtar-66@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9578-8202>.

**Аннотация.** Ғылыми мақалада ақ портландцемент клинкерін алу үшін қажетті шикізат материалдардың жарамдылығы, оңтайландырылған шикізат шихта құрамдарды есептеу және күйдірілген клинкердің сапасы бойынша нәтижелер көрсетілген. Әлемде жоғары сапалы, 1 және 2 дәрежелі ақ, экологиялық таза, беріктігі жоғары ақ портландцементке сұраныс өте жоғары. Зерттеу жұмысы еліміз үшінде, жалпы әлемдік ақ портландцемент өндірісі үшінде өзекті. Себебі, алғаш рет Қазақстандық шикізат материалдар мен өндіріс қалдықтарды пайдаланып декоративті құрылыс жұмыстарға арналған ақ портландцемент клинкерінің құрамы әзірленген. Мақалада шикізат материалдар мен өндіріс қалдығының химиялық құрамы рентгендік флуоресценциялық спектрометр көмегімен анықталды. «Шихта» компьютерлік бағдарламасының көмегімен шикізат шихта құрамы есептелді және оңтайландырылды. Күйдірілген клинкер сапасы этиленді-глициратты әдіс көмегімен клинкер құрамындағы байланыспаған  $\text{CaO}_{\text{бос}}$  анықталды. Клинкердің ақтық сапасы «РЗ-ТБМС-М» құралының көмегімен анықталды. «Әктас+каолин Көкшетау+электротермофосфор шлагы» және «Әктас+каолин Ангрен+электротермофосфор шлагы» шикізат шихта құрамдары есептелді. Клинкердің шикізат түріне, қанығу коэффициентіне, силикатты және глиноземді модульдерге тәуелділік заңдылықтары айқындалды. Ақ портландцемент клинкер алу үшін шихта құрамына 5 – 35 % дейін электротермофосфор шлагын ендіру мүмкіндігі белгіленді. Әзірленген «Әктас+каолин Көкшетау+электротермофосфор шлагы» шикізат шихта құрамдарда клинкер түзілу процесі 1500 °C температурада аяқталды және  $\text{CaO}_{\text{бос}}$  мөлшері 0,54–1,62 % болды. Клинкерлердің ақтық дәржесі 74,1–78,1 % көрсетті. Ал «Әктас+каолин Ангрен+электротермофосфор шлагы» шикізат шихта құрамдарда клинкер түзілу процесі 1450-1500 °C температурада аяқталды және  $\text{CaO}_{\text{бос}}$  мөлшері 0,27–1,35 % болды. Алынған клинкерлердің ақтық дәржесі 71,4–82,1 % көрсетті. Нәтижесінде барлық алынған клинкерлер 1-ші және 2-ші дәрежелі ақ цементтерді алуға жарамды екендігі дәлелденді.

Түйін сөздер: әктас, каолин, электротермофосфор шлагы, шикізат шихтасы, ақтық дәрежесі, клинкер, ақ цемент

©Амангелді Б.<sup>1</sup>, Жаникулов Н.<sup>2\*</sup>, Таймасов Б.<sup>1</sup>, Айтуреев М.<sup>1</sup>,  
Даулетияров М.<sup>1</sup>, 2026.

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет имени Ауэзова, Шымкент, Казахстан;

<sup>2</sup>Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан.

E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru

## РАСЧЁТ СОСТАВА СЫРЬЕВОЙ ШИХТЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

Амангелди Бекасыл — PhD докторант, Южно-Казахстанского университета имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,  
E-mail: bekasyl700@mail.ru, <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0002-3378-6110>;

Жаникулов Нургали — PhD, ассоциированный профессор, Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,  
E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0750-9753>;

Таймасов Бахитжан — доктор технических наук, профессор, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: taimasovukgu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1844-4932>;

Айтуреев Мурат — кандидат технических наук, доцент, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: murattssm@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8154-0417>;

Даулетияров Мухтар — кандидат технических наук, доцент, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: muhtar-66@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9578-8202>.

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования пригодности сырьевых материалов для получения белого портландцементного клинкера, расчета оптимизированных составов сырьевых смесей и оценки качества обожженного клинкера. В настоящее время в мире сохраняется высокий спрос на высококачественный, экологически безопасный и высокопрочный белый портландцемент. Актуальность работы обусловлена как потребностями отечественной промышленности, так и общемировыми тенденциями развития производства белого портландцемента. Научная новизна исследования заключается в том, что впервые разработан состав белого портландцементного клинкера для декоративных и строительных работ с использованием казахстанского сырья и техногенных отходов. В исследовании химический состав сырья и техногенных отходов определяли с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра. Составы сырьевых смесей рассчитывали и оптимизировали с использованием компьютерной программы «Шихта». Качество обожженного клинкера оценивали методом этиленгликолята по содержанию свободного СаО в клинкере. Конечное качество и белизну клинкера определяли с помощью прибора «РЗ-ТБМС-М». Были рассчитаны следующие составы сырьевых смесей: «известняк + кокшетауский каолин + электротермофосфорный шлак» и «известняк + ангренский каолин + электротермофосфорный шлак». Установлена зависимость свойств клинкера от типа сырья, коэффициента насыщения, силикатного и глиноземного модулей. Показана возможность введения 5–35 % электротермофосфорного шлака в состав сырьевой смеси для получения белого портландцементного клинкера. Для разработанных составов на основе смеси «известняк + кокшетауский каолин + электротермофосфорный шлак» процесс клинкерообразования завершался при температуре 1500 °С, а содержание свободного СаО составляло 0,54–1,62 %. Белизна клинкера находилась в пределах 74,1–78,1 %. При использовании сырьевой смеси «известняк + ангренский каолин + электротермофосфорный шлак» процесс клинкерообразования завершался при температуре 1450–1500 °С, а содержание свободного СаО составляло 0,27–1,35 %. Белизна полученного клинкера составляла 71,4–82,1 %. В результате установлено, что весь полученный клинкер пригоден для производства белых цементов 1-го и 2-го классов.

**Ключевые слова:** известняк, каолин, электротермофосфорный шлак, сырьевая смесь, белизна, клинкер, белый цемент



**Кіріспе.** Әлемдік портландцемент өндірісінің көлемі 2025 жылы 4 млрд тонна цементке жетті, оның ішінде ақ портландцементтің көлемі 23 млн тоннаны құрады, бұл жалпы өндіріс көлемінің небәрі 1 % үлесінде жетпейді (White cement, 2026). Ақ портландцементті өндірген елдердің қатарына Қытай – 40 %, Үндістан – 15 % және Еуропа құрлығынан Дания мен Түркияның көрсеткіші жоғары болып келеді. Дүние жүзінде ақ портландцементтің нарықтық бағамы 2025 жылы 9,85 млрд АҚШ долларды құрады, бұл 2024 жылғы көрсеткіштен 6,8 % жоғары болды (White cement, 2025). Негізгі ақ портландцемент өндірушілер тізіміне Aalborg White, Çimsa, JK Cement, UltraTech Cement, Cemex және Holcim секілді ірі кәсіпорындар жатады. Бұл зауыттар ақ портландцемент өндірісінде «жасыл құрылыс» принциптерді қатаң түрде сақтап, энергия және ресурс үнемдеу технологияларды жүзеге асыра отырып, жоғары сападағы экологиялық таза ақ цементтерді өндіреді.

Ақ портландцемент өндіру үшін оған бірнеше талаптар қойылады. Негізгі талаптардың бірі жоғары сапалы құрамында темір оксиді өте төмен болып келетін табиғи шикізаттар мен техногенді қалдықтарды қолдану ұсынылған. Ақ портландцемент алу кезінде клинкер күйдіру процесі жоғары температурада 1450-1500°C жүргендіктен, атмосфераға таралатын зиянды парникті газдардың да үлесі жоғары болып келеді. Жалпы құрылыста қолданатын сұр цемент алу кезінде CO<sub>2</sub> шығарындылары 1 т клинкер үшін 620-690 кг болса, ақ портландцемент клинкері үшін 860-960 кг дейін жетеді (Euronext Sustainability, 2025). CO<sub>2</sub> газының көптеп бөліну себебінің бірі шикізаттарда температураны төмендетуші Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> аз болуымен байланыстырылады. Технологиялық процесте шикізат материалының жентектелуі есебінен айналмалы пеште атмосфераның төмендеуі негізгі фактордың бірі болып саналады.

БҰҰ-ның мәліметіне сәйкес әлемде цемент өндіруші компанияларға зиянды газдарды (CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) атмосфераға тарату бойынша 7-8 % тиесілі екен. Осы себептен ақ портландцемент өндіру климаттың өзгеруіне, жаһандық жылыну мәселесіне, табиғи шикізат көздердің азаюына, энергияны көп тұтынуға әсерін тигізері сөзсіз (Cement Industry, 2024). Ғалымдар ақ портландцемент өндірісін дамытуда тиімді технологиялық ұсыныстар мен мәселелердің тиімді шешімдерін ұсынып келеді. 2005 жылы ақ портландцемент клинкерді алу үшін шикізат шихта құрамына доменді шлакты қосу арқылы клинкердің ақшыл түсін жақсартуға болатындығын, сонымен қатар, басқада химиялық өндіріс қалдықтарды қолданып көру қажеттігін ұсынған. Осы доменді шлак қосылған шикізат шихтасын күйдіру кезінде энергия қажеттілік және зиянды түтінді газдардың шығу көрсеткіші 20 % төмендегені, өнімнің беріктік көрсеткіші артқандығы анықталған (Brett et. al, 2008).

2024 жылы Еуропалық одақ елдерінде CASPER жобасы аясында цемент зауытының пештерінде парникті газдарды ұстау, соның ішінде CO<sub>2</sub> газын 20 тонна ұстау сәтті жүзеге асты. Осы жоба аясында ACCSION инновациялық қорының қолдауымен барлық цемент зауыттарды CO<sub>2</sub> газын бір жылда 400 мың тоннаға дейін жинау жоспарлады, ары қарай 2030 жылы бұл көрсеткішті нөлге дейін

жеткізу көзделді. Негізі мақсат парникті газдардың таралуын азайту арқылы жаһандық жылыну процесін тежеуге бағытталған (Chatterjee, 2018).

Agusmalem G. және басқада ғалымдар алынған ақ портландцемент беріктігін бетон қоспасына әсерін сынау арқылы сұр портландцементпен салыстыру жұмыстарды жүргізген. Әдеттегідей ақ портландцемент бағасының сұр цементке қарағанда қымбат екендігін, алайда сәулет жұмыстарында ақ портландцемент түрін пайдалану тиімді екендігіне тоқталған. Бетон беріктігін 3, 7, 14, 21 және 28 тәуліктен кейінгі көрсеткіштерге сынау арқылы қысудағы беріктігін салыстырған. Нәтижесінде ақ портландцемент ендірілген бетон беріктігі 3 тәуліктен кейін 13,81 МПа жетсе, бұл көрсеткіш сұр цементте 13,03 МПа құраған. Осы секілді 7 тәуліктен кейінгі көрсеткіш ақ портландцементте 16,68 МПа болса, сұр цементте 15,11 МПа болды. Бетон беріктігінің толық қатаюы көрсеткіші 80-90 % ға 28 тәуліктен кейін жететіндігін ескерсек, ақ портландцементте 28 тәуліктен кейін беріктігі 23,11 МПа болса, сұр цемент ендірілген бетон беріктігі 20,54 МПа болды. Салыстырмалы түрде анықталғандай, ақ портландцемент бетон беріктігіне әсері тиімді екендігі дәлелденген (Agusmalem et. al, 2022).

Ақ портландцемент сапасын арттыру үшін қытайлық цемент өндірушілер шикізат шихта құрамына 16-18 % -  $\text{SiO}_2$ , 0,5-0,7 % - боксит және 0,8-1,0 % - минерализатор ендіру, шикізат шихтаның модульдік көрсеткіштерін  $\text{КК}=0,98$ ;  $n=5,2$ ;  $p=6,1$  жеткізу, шихтаны  $1500^\circ\text{C}$  температурда күйдіру арқылы клинкер күйдіріп алды. Нәтижесінде алынған ақ портландцемент клинкерінің ақтық дәрежесі шамамен 86 % дейін жетті. Компания жетекші мамандары аталған рецептураны және технологиялық процестерді қатаң сақтау қажеттігін ескерткен (Patent, 2019).

Mohamed B. және басқа ғалымдар ақ портландцемент алу кезінде қателіктерге тап болғанын және технологиялық қателіктерді алдын алу қажеттігі бойынша ғылыми мақала жариялаған. Атылған ғалымдар ақ портландцемент клинкер алу үшін шикізат материалдардың құрамында  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  мөлшерінің минималды болуын, сапалы таза, ақтығы жоғары әктас минералын пайдалу қажет екендігін, каолин құрамында  $\text{SiO}_2$  мөлшерінің артық болуын, гомегенизация (біректілеу) процесінің нашар болмауын қамтамасыз ету қажетігіне тоқталған. Ақ портландцемент клинкер түзілу процесінде шикізат шихтасының модульдік көрсеткіштері ( $\text{КК}$  және модульдер), күйдіру жоғары температура режимінде сақталмай ақ клинкер алу мүмкін еместігін алға тартқан. Күйдіру процестегі кез-келген ауытқулар мен өзгерістер энергиялық шығындардың артуы мен технологиялық мәселеге әкелетіндігін айқындаған. Зерттеу жұмыстары кезінде алынған ақ клинкердің минералогиялық құрамында алит – 58,5-85,5 %, белит – 2,8-27,6 % дейін ауытқыған. Клинкердегі бос  $\text{CaO}$  мөлшері 3,8 % дейін артып кеткендігі анықталған. Алынған клинкерді микроскопиялық талдау нәтижесінде клинкер суыту процесі дұрыс орындалмағыны әсерінен түзілген минералдардың геометриялық пішіндері өзгерген, кристал түзілу, портландит және периклаз екіншілік минералдарының түзілуі анықталған. Алит минералы пішінсіз, қуыс тесікті болып кездескен (Mohamed et. al, 2016).

Материалдар мен зерттеу әдістері. Ғылыми мақалада зерттеу жұмыстарды жүргізу үшін Састөбе кенорнының әктастын, Ангрен (Өзбекстан) кенорнының және Көкшетау кенорнының каолинін, реттеуші қоспа ретінде техногенді қалдық Жаңа Жамбыл фосфор зауытының электротермофосфор шлагын таңдап алдық. Алынған шикізат материалдар рентгендік флуоресценциялық спектрометрде химиялық құрамы анықталды.

Ақ портландцемент клинкерін алу үшін шикізат шихта құрамын әзірлеу ең алдымен «Шихта» бағдарламасының көмегімен есептеулер жүргізілді. Оңтайландырылған шикізат шихта құрамдарды дайындау, оларды жоғары температурада күйдіру арқылы ақ клинкер алу, клинкер сапасына талдау, оның ақтық дәрежесін анықтау жұмыстары жүргізілді.

Шикізат материалдарды Bruker компаниясының S8 Tiger рентгендік флуоресценциялық спектрометрде химиялық құрамын анықталды. Аталған құрал-жабдық элементтерді  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ , ККЖ (күйдіру кезінде жоғалулар) мөлшерін сандық түрінде дәлме дәл талдап берді. BRUKER S8 TIGER рентген флуоресценциялық спектрометрі (толқынды дисперсиялық, WDXRF), Родий (Rh) анодымен рентген түтігі, қуаты 4 кВт дейін, SPECTRAPlus бағдарламалық жасақтамасы, Планшеттік пресс, Муфель пеші (егер кальцинация қажет болса),  $\pm 0,0001$  г дәлдікпен аналитикалық таразы жабдықталған. Үлгі дайындау  $105 \pm 5$  °C температурада тұрақты салмаққа дейін кептіріледі, содан кейін 63 мкм-ден аз бөлшектердің өлшеміне дейін ұнтақталады. Алынған ұнтақ біртектілікті қамтамасыз ету үшін мұқият араластырылады. Аналитикалық мақсаттарға байланысты престелген таблеткалар дайындалады. 5,0–7,0 г ұнтақ үлгісі 10% байланыстырғышпен (бор қышқылымен) араластырылады. Үлгі 20–30 т қысыммен престеледі. Алынған таблетка анализатор кюветіне орналастырылады. Талдау кезінде түтіктің жұмыс режимі: 20–60 кВ, 20–150 мА, талдау атмосферасы: вакуум немесе гелий (жеңіл элементтер үшін), талданатын элементтер диапазоны: Na-дан U-ға дейін, сигналдың жинақталу уақыты: әр жолға 10–40 с, қолданылатын анализатор кристалдары: LiF, PET, Ge (элементке байланысты). Дайындалған үлгі өлшеу камерасына орналастырылады. Талдау элементтердің сипаттамалық сызықтарын тізбектей өлшеуді қамтитын алдын ала орнатылған бағдарламаға сәйкес автоматты түрде жүргізіледі. Алынған спектрлер элементтердің немесе оксидтердің массалық үлестерін есептеу үшін бағдарламалық жасақтамамен өңделеді. Талдау нәтижелері элементтердің массалық үлестері (%) немесе оксидтер (%) ретінде ұсынылады. Анықтау шегі элементке байланысты 0,001-ден 0,01%-ға дейін болады. Салыстырмалы өлшеу қателігі 2–5%-дан аспайды (Zhanikulov et al, 2020).

«Шихта» компьютерлік бағдарлама Ресейдің В.Г. Шухов атындағы Белгород мемлекеттік технологиялар университетінде құрастырылған. Бағдарламада шикізат материалдардың химиялық құрамын және модульдік көрсеткіштерін ендіру арқылы есептеу жүргізіледі. Есептеу нәтижесінде шикізат шихта құрамы, 1 т клинкер үшін қажетті шикізат материалдардың меншікті шығыны мен үлесі, алынатын клинкердің химиялық және минералогиялық құрамы, клинкердің

модульдік мәндері және клинкер күйдіру процесінің болжамды технологиялық көрсеткіштері келтіріледі. 1 суретте «Шихта» бағдарламасымен есептеу жүргізудің жалпы көрінісі келтірілген (Перескок және басқа, 2010).

Трёхкомпонентная сырьевая смесь

3 компонента

n = 4,0  p =  КН= 0,98

Компонент	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	R2O	ППП	Прочее	Сумма
Экстас	0,8	0,2	0,28	54,86	0,68	0	0	42,31	0,87	100
Каолин	56,97	17,48	0	2,55	0,14	0,86	0	10,83	11,17	100
фосфор шлак	42,99	4,34	0,47	44,7	0,62	0,38	0	2,0	4,5	100

**В пересчете на 100%**

Компонент	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	R2O	ППП	Прочее	Сумма
Экстас	0,8	0,2	0,28	54,86	0,68	0	0	42,31	0,87	100
Каолин	56,97	17,48	0	2,55	0,14	0,86	0	10,83	11,17	100
фосфор шлак	42,99	4,34	0,47	44,7	0,62	0,38	0	2,0	4,5	100

**Результаты расчета химического состава сырьевой смеси и клинкера**

Компонент	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	R2O	ППП	Прочее	Сумма
Экстас 72,59 вес.ч.	0,58	0,15	0,20	39,83	0,49	0,00	0,00	30,71	0,63	72,59
Каолин 15,52 вес.ч.	8,84	2,71	0,00	0,40	0,02	0,13	0,00	1,68	1,73	15,51
фосфор шлак 11,89 вес.ч.	5,11	0,52	0,06	5,31	0,07	0,05	0,00	0,24	0,53	11,89
Состав сырьевой смеси в %	14,53	3,38	0,26	45,54	0,58	0,18	0,00	32,63	2,89	100
Состав Клинкера в %	21,57	5,02	0,39	67,60	0,86	0,27	0,00		4,29	100

**Расчет минералогического состава:**

C3S	C2S	C3A	C4AF	MgO	Сумма
77,05	3,71	12,64	1,19	0,86	95,45

Сырьевая смесь КН = 0,98 n = 3,99 p = 13,00  
Клинкер КН = 0,98 n = 3,99 p = 12,87

Рассчитать

Сурет 1 – «Шихта» бағдарламасымен шикізат шихта құрамын есептеу

Күйдірілген клинкердегі байланыспаған бос кальций оксиді ( $\text{CaO}_{\text{бос}}$ ) мөлшерін анықтау бұл минералдардың түзілу процестерінің толығымен аяқталғанын және күйдіру сапасын анықтауға мүмкіндік береді.  $\text{CaO}_{\text{бос}}$  мөлшері ГОСТ 5382–2019 «Цемент өндірісіне арналған цементтер мен материалдар. Химиялық талдау әдістері» талаптарына сәйкес орындалады (ГОСТ 5382-2019, 2019). Бос кальций оксиді ( $\text{CaO}_{\text{бос}}$ ) мөлшерін анықтау этилен-глициратты әдіспен жүргізіледі. Бұл әдіспен анықтауды Э.И. Нагеров пен Н.И. Колендзян ғалымдар ұсынған. Әдіс  $\text{CaO}_{\text{бос}}$  жалпы құрамын  $\text{CaO}$  және  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  түрінде анықтайды. Әдіс цементті ыстық сусыз глициринді ерітіндімен және абсолютты спиртпен өңдеуге арналған, нәтижесінде цемент құрамындағы кальций оксиді сусыз глициринмен әрекеттеспегенде кальций глицераты пайда болады. Осы глицерат спиртті ерітінді бензой қышқылы және сіркеқышқылды аммониймен әрекеттесіп титрлейді. Ерітінді кальций глицератына ғана ауысады. Бос магний оксиді глициринмен реакцияға түспейді.

$\text{CaO}_{\text{бос}}$  анықтауда этиленді-глициратты әдіс басқа әдістерге қарағанда дәл нәтиже береді. *Зерттеуді жүргізу кезінде 0,5 г салмақтағы клинкер үлгісін*

конусты колбаға орналастырып, кейін 30 см<sup>3</sup> ерітінді құйамыз, колбаны жақсылап араластырып, қайта суыту механизміне жалғап қоямыз. Колбаны 20-30 мин аралығында қыздырып, ерітіндіде қызғылт түс пайда болған кезде қайта суыту механизмінен ажыратып, ыстық ерітіндіні бензой қышқылымен титрлейміз. Титрлеу қызғылт түстің жоғалуна дейін жалғасады, сол кезде ғана титрлеу аяқталды деп есептеледі. *Нәтижелерді өңдеу* CaO<sub>бос</sub> массалық үлесін пайыздық мөлшерде анықталады, төмендегі формула бойынша (Xcao<sub>бос</sub>) есептеледі:

$$X_{\text{CaO}_{\text{бос}}} = V \times T(\text{CaO}_{\text{бос}}) \times 100/m \quad (1)$$

мұнда: *V* — зерттеп жатқан ерітіндіні титрлеуге кеткен бензой қышқылының көлемі, см;

*m* — алынған үлгінің салмағы, г (Макарова және басқа, 2011).

**Цементтің ақтық дәрежесін анықтау** «РЗ-ТБМС-М ұн ақтығын өлшейтін тестер» құралының көмегімен орындалды. Ұнтақталған клинкердің ақтық дәрежесін анықтау әдісінің негізгі мәні — тығыздалған әрі тегістелген ұнтақ бетінің спектрдің жасыл бөлігіндегі (540±50 нм диапазонында) диффузиялық шағылу коэффициенттерін өлшеуге негізделген. Ақтық дәреже 45°<sub>diff</sub> геометриясында алынған зоналық диффузиялық шағылу коэффициенті бойынша анықталады. Анықталған нәтиже құралдың экранында екі сан түрінде көрсетіледі: бірінші сан — пайыздық көрсеткіш, диффузиялық шағылу коэффициенті, ал екінші сан — құралдың шартты бірліктерімен, ақтық дәреже мәні. Құралдың өлшеу көлемі фотометриялық жартышар камерасынан тұрады, ол клинкер ұнтақ үлгісінің көлемінен оптикалық мөлдір шыны пластинамен бөлінген. Бұл пластина оған орналастырылатын клинкер ұнтақ үлгісінің тұрақты орнын қамтамасыз етеді. Сәулелену толқын ұзындығы 540 нм болатын жасыл жарық диодтан шыққан жарық ағыны пластинаға қатысты 45° бұрышпен клинкердің ұнтақ бетіне түседі. Клинкер ұнтақ пен жартышардан көп мәрте шағылу нәтижесінде пайда болған шашыраған сәуле фотодетекторға бағытталады. Фотодетектордан алынған сигнал электрондық түрде өңделіп, сандық индикаторда бейнеленеді. Өлшенген нәтиже шашыраған сәулелену деңгейіне, яғни клинкердің ақтығына, тазалығына, гранулометриялық құрамына және түсіне тәуелділігін көрсетеді (Мырзақожа және басқа, 2014).

Нәтижелер және талқылаулар. Табиғи шикізат материалдар мен техногенді қалдықтың химиялық құрамы 1 кестеде келтірілген.

Кесте 1. Шикізат материалдардың химиялық құрамы.

Шикізат	Химиялық құрамы, сал. %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	ККЖ	басқа	жалпы
Састөбе кен орнының әктасты	0,8	0,2	0,28	54,86	0,68	-	42,31	0,87	100
Ангрен кен орнының каолині	63,99	19,22	0,36	0,64	0,52	0,19	7,98	7,1	100
Көкшетау кен орнының каолині	56,97	17,48	-	2,55	0,14	0,86	10,83	11,17	100

Жаңа Жамбыл фосфор зауытының электротермофосфор шлагы	42,99	4,34	0,47	44,7	0,62	0,38	2,0	4,5	100
---	-------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----

Карбонатты жыныс әктас минералы құрамында CaO – 54,86 % және күйдіру кезіндегі жоғалу – 42,31 % тұрады. Сазды компонент ретінде алынған каолин минералының химиялық құрамдарында SiO<sub>2</sub> мөлшері 56,97-63,99 % аралығында және Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> мөлшері 17,48-19,22 % мөлшерінде тұратындығы анықталды. Реттеуші қоспа ретінде алынған қалдық электротермофосфор шлагының химиялық құрамында SiO<sub>2</sub> – 42,99 % және CaO – 44,7 % кездеседі. Бұл оның ақ портландцемент клинкер алу үшін жарамды шикізат екендігін көрсетеді. Химиялық талдау нәтижесінде, барлық шикізат материалдардың құрамында Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> мөлшері 0,5 %-дан төмен екендігі анықталды және клинкер алу үшін күйдіру процессіне кері әсер етуші зиянды қоспалардың кездеспейтіндігі анықталды.

Жоғарыда келтірілген шикізат материалдарды пайдаланып ақ портландцемент алу үшін клинкер күйдіруге жарамды шихта құрамын есептеу және оңтайлы қоспа таңдау қажеттігі зерделенді.

1) «Әктас + каолин Көкшетау + электротермофосфор шлагы»;

2) «Әктас + каолин Ангрен + электротермофосфор шлагы».

Көп нұсқалы есептеу нәтижелері 2-7 кестелерде келтірілген.

Кесте 2. «Әктас + каолин Көкшетау + электротермофосфор шлагы» үш компонентті шикізат шихталарының химиялық құрамы және шикізаттың меншікті шығыны.

Қоспа №	Шикізат құрамы, %			Меншікті шикізат шығыны, т/т клинкер			КК	Модульдер		Шикізат шихтасының химиялық құрамы, сал. %							
	әктас	каолин Көкшетау	фосфор шлак	әктас	каолин Көкшетау	фосфор шлак		n	р	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	бас-ка	ккж
1	76,43	20,73	5,81	1,104	0,312	0,087	0,88	3,5	17,27	14,9	4,02	0,23	43,42	0,56	0,2	3,22	33,44
2	73,85	20,38	5,77	1,112	0,307	0,087	0,90	3,5	16,9	14,67	3,96	0,23	43,61	0,57	0,2	3,18	33,57
3	74,79	19,55	5,66	1,131	0,296	0,086	0,95	3,5	16,15	14,17	3,81	0,24	44,06	0,57	0,19	3,09	33,87
4	75,32	19,07	5,60	1,142	0,289	0,085	0,98	3,5	15,7	13,88	3,73	0,24	44,31	0,57	0,19	3,04	34,05
5	70,88	16,68	12,44	1,043	0,245	0,183	0,90	4,0	14,0	15,42	3,60	0,26	44,87	0,58	0,19	3,04	32,05
6	71,98	15,94	12,08	1,065	0,236	0,179	0,95	4,0	13,37	14,85	3,45	0,26	45,29	0,59	0,18	2,95	32,42
7	72,59	15,52	11,89	1,078	0,23	0,176	0,98	4,0	13,00	14,53	3,38	0,26	45,54	0,58	0,18	2,89	32,63
8	66,19	10,82	22,98	0,941	0,154	0,327	0,90	5,0	10,3	16,58	3,02	0,29	46,86	0,61	0,18	2,82	29,64
9	67,55	10,26	22,19	0,967	0,147	0,318	0,95	5,0	9,85	15,93	2,89	0,29	47,25	0,61	0,17	2,73	30,13
10	64,22	6,0	29,78	0,897	0,084	0,416	0,95	6,0	7,72	16,73	2,47	0,32	48,7	0,63	0,16	2,57	28,42

Есептеу нәтижесі 2 кестеде келтірілгендей, шикізат шихта құрамына фосфор шлагы 5,6 – 29,7 % дейін ендіру мүмкіндігі анықталды. Қанығу коэффициентінің мәнін 0,88-ден 0,98-ге дейін жоғарлату кезінде силикатты және глиноземді модульдердің мәнінің өзгеруіне алып келуде. Шикізат материалдардың меншікті теориялық шығыны 1 тонна клинкер үшін 1,39 - 1,52 т/т аралығын қамтылды. Силикатты модуль көрсеткіші 3,5-тен 6,0-ға дейін арттырған кезде сазды компонент каолиннің үлесі 20,7 %-дан 6,0 %-ға дейін біртіндеп төмендеуіне алып келді. Сондай-ақ, силикатты модульдың артуымен глиноземді модуль 17,27-ден

7,72-ге дейін төмендеді. Шикізат шихтасының химиялық құрамында  $Fe_2O_3$  үлесі талап бойынша 0,3–0,5 %-дан жоғары болған жоқ.

Кесте 3. «Әктас + каолин Көкшетау + электротермофосфор шлагы» үш компонентті шикізат шихталарына негізделген клинкерлердің химиялық және минералогиялық құрамы.

Қоспа №	Клинкердің химиялық құрамы, сал. %							ҚК	Модульдер		Минералогиялық құрамы, сал. %			
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	басқа		n	p	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
	1	22,38	6,04	0,35	65,24	0,85	0,3		4,83	0,88	3,5	17,27	54,43	23,1
2	22,10	5,96	0,35	65,65	0,85	0,3	4,78	0,90	3,5	16,9	58,79	19,01	15,2	1,07
3	21,43	5,76	0,36	66,63	0,86	0,29	4,67	0,95	3,5	16,15	69,21	9,21	14,67	1,09
4	21,04	5,65	0,36	67,19	0,87	0,28	4,61	0,98	3,5	15,7	75,16	3,62	14,37	1,09
5	22,69	5,29	0,38	66,03	0,86	0,28	4,47	0,90	4,0	15,42	60,34	19,51	13,38	1,15
6	21,98	5,11	0,38	67,03	0,87	0,27	4,37	0,95	4,0	13,37	70,98	9,45	12,9	1,16
7	21,57	5,02	0,39	67,60	0,86	0,27	4,29	0,98	4,0	13,0	77,05	3,71	12,64	1,19
8	23,56	4,29	0,42	66,6	0,86	0,26	4,01	0,90	5,0	10,3	62,67	20,26	10,67	1,27
9	22,8	4,14	0,42	67,61	0,87	0,25	3,91	0,95	5,0	9,85	73,63	9,8	10,25	1,27
10	23,38	3,45	0,45	68,03	0,88	0,23	3,59	0,95	6,0	7,72	75,51	10,05	8,38	1,36

Есептеу нәтижесі 3 кестеде келтірілгендей, клинкердің химиялық құрамында  $Fe_2O_3$  үлесі талап бойынша 0,3–0,5 %-дан жоғары емес, бұл цемент түсінің ақ болу үшін маңызды көрсеткіш болып саналады. Күйдірілген клинкердің болжамды минералогиялық құрамында қанығу коэффициентінің мәні 0,88-ден 0,98-ге дейін жоғарлағанда алит ( $C_3S$ ) минералының үлесі 54,4 - 77,0 %-ға дейін артқаны және керісінше белит ( $C_2S$ ) минералының үлесі 23 %-дан 3,62 %-ға дейін төмендегені анықталды. Аралық фазаның ( $C_3A+C_4AF$ ) саны 16 %-дан 9,6 %-ға дейін төмендеді. Ақ портландцемент клинкер алу үшін клинкер құрамында  $C_4AF$  минералы минималды мөлшерде 3-5 %-дан төмен болу керек екендігі талап ретінде қойылған. Аталған есептеу нәтижесінде  $C_4AF$  минералының үлесі 1,5 %-да жетпеді.  $C_3S$  минералының үлесі 50-60 %-дан жоғары болу керек талабы толық орындалғаны көрсетілген.

Кесте 4. «Әктас + каолин Көкшетау + электротермофосфор шлагы» шикізат шихталардың күйдіру индексі және күйдіру коэффициенті.

Қоспа №	ҚК	Модульдер		Сұйық фаза саны, L %	Күйдіру индексі (онтайлы 2,5-3,0)	n*p	Жентектелу коэффициенті (онтайлы 0,5-0,6)	Гидравликалық модуль (онтайлы 1,7-2,4)	Материалдың футеровкаға жабысу критеріі (онтайлы 3,0-3,5)	Жылу калометриялық модуль (онтайлы 0,3-1,8)
		n	p							
1	0,88	3,5	17,27	24,7	3,3	60,4	0,7	2,27	3,7	2,89
2	0,90	3,5	16,9	24,4	3,61	59,27	0,77	2,31	3,7	3,68
3	0,95	3,5	16,15	23,72	4,39	56,53	0,94	2,42	3,72	8,14
4	0,98	3,5	15,7	23,32	4,86	54,99	1,04	2,48	3,72	19
5	0,90	4,0	15,42	22,15	4,15	56	0,88	2,33	4,28	3,57
6	0,95	4,0	13,37	21,52	5,05	53,49	1,07	2,44	4,3	7,9
7	0,98	4,0	13,0	21,15	5,59	52,08	1,19	2,5	4,3	18,38
8	0,90	5,0	10,3	18,8	5,25	51,5	1,11	2,36	5,48	3,4

9	0,95	5,0	9,85	18,24	6,38	49,27	1,35	2,47	5,51	7,57
10	0,95	6,0	7,72	15,92	7,75	46,32	1,63	2,49	6,78	7,35

Есептеу нәтижесі 4 кестеде келтірілгендей, күйдірілген клинкердің өндірістік көрсеткіштеріне сипаттама жасай отырып, зерттеліп отырған үш компонентті шихталардың күйдіру қабілеті қиын екені анықталды. Сұйық фазаның мөлшері төмен — 24 %-тен 18%-ға дейін азайды. Сұйық фазаның мөлшері ҚК шамасына және силикатты модуліне байланысты өзгерді. Бұл көрсеткіштер артқан сайын клинкердегі сұйық фазаның мөлшері азаяды, бұл өз кезегінде ақ клинкерді күйдіру процесіне едәуір қиындатады. Күйдірілу индексі, жентектелу коэффициенті және футеровкаға жабысу критерийі оңтайлы мәндерден жоғары. ҚК шамасы мен силикатты модулі артқан сайын бұл критерийлер нашарлап жатыр деген қорытынды жасауға болады.

Кесте 5. «Әктас + каолин Ангрен + электротермофосфор шлагы» үш компонентті шикізат шихталарының химиялық құрамы және шикізаттың меншікті шығыны.

Қоспа №	Шикізат құрамы, %			Меншікті шикізат шығыны, т/т клинкер			ҚК	Модульдер		Шикізат шихтасының химиялық құрамы, сал. %							
	әктас	каолин Ангрен	фосфор шлак	әктас	каолин Ангрен	фосфор шлак		n	р	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	бас-ка	ккж
1	75,37	18,33	5,8	1,133	0,283	0,087	0,88	3,5	13,14	15,15	4,02	0,31	44,06	0,65	0,06	2,25	33,51
2	71,94	15,38	13,67	1,057	0,226	0,186	0,88	4	11,54	15,87	3,65	0,32	45,23	0,65	0,08	2,29	31,92
3	75,74	18,56	5,76	1,141	0,28	0,087	0,9	3,5	12,94	14,92	3,96	0,31	44,24	0,65	0,06	2,19	33,64
4	76,61	17,79	5,66	1,16	0,269	0,086	0,95	3,5	12,48	14,39	3,81	0,3	44,67	0,65	0,06	2,23	33,94
5	77,11	17,35	5,6	1,17	0,263	0,085	0,98	3,5	12,22	14,09	3,72	0,3	44,91	0,65	0,05	2,2	34,12
6	67,12	9,78	23,13	0,954	0,139	0,329	0,9	5	9,08	16,72	3,01	0,33	47,22	0,65	0,11	2,35	29,64
7	68,41	9,27	22,32	0,98	0,133	0,320	0,95	5	8,74	16,06	2,88	0,33	47,58	0,65	0,1	2,28	30,14
8	69,18	8,98	21,87	0,994	0,129	0,314	0,98	5	8,54	15,68	2,81	0,33	47,78	0,65	0,1	2,25	30,42
9	61,85	2,4	35,76	0,848	0,033	0,49	0,95	7	6,1	17,4	2,14	0,35	49,93	0,65	0,14	2,32	-

Есептеу нәтижесі 5 кестеде келтірілгендей, Ангрен кенорнынан алынған каолинмен келтірілген есептеу нәтижесінде, 1 тонна клинкер алу үшін қажетті фосфор шлагының үлесі шамамен 85-490 кг құрады. Қанығу коэффициентінің мәні 0,88-ден 0,98-ге дейін жоғарлату силикатты молдудің 3,5-тен 7-ге дейін жоғарлауына және глиноземді модульдің 13-тен 6-ға дейін мәнінің төмендеуіне алып келді. Шикізат материалдардың меншікті теориялық шығыны 1 тонна клинкер үшін 1,515 т/т-дан 1,437 т/т дейін өзгерді. Силикатты модуль көрсеткіші 3,5-тен 7,0-ге дейін жоғарлауы кезінде сазды компонент каолиннің үлесі 18 %-дан 2,5 %-ға дейін біртіндеп төмендеуіне алып келді. Шикізат шихтасының химиялық құрамында Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> мөлшері 0,3–0,35 % аралығын құрады.

Кесте 6. «Әктас + каолин Ангрен + электротермофосфор шлагы» үш компонентті шикізат шихталарына негізделген клинкерлердің химиялық және минералогиялық құрамы.

Қоспа №	Клинкердің химиялық құрамы, сал. %							ҚК	Модульдер		Минералогиялық құрамы, сал.%			
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	баска		n	p	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
1	22,78	6,05	0,46	66,27	0,97	0,09	3,39	0,88	3,5	13,14	55,4	23,51	15,24	1,4
2	23,31	5,36	0,46	66,44	0,95	0,11	3,36	0,88	4	11,54	56,68	24,05	13,42	1,41
3	22,49	5,96	0,46	66,67	0,97	0,09	3,36	0,9	3,5	12,94	59,81	19,34	15,02	1,4
4	21,79	5,76	0,46	67,62	0,98	0,08	3,3	0,95	3,5	12,48	70,38	9,37	14,49	1,4
5	21,39	5,65	0,46	68,17	0,99	0,08	3,26	0,98	3,5	12,22	76,4	3,68	04,18	1,4
6	23,76	4,28	0,47	67,11	0,92	0,15	3,29	0,9	5	9,08	63,21	20,44	10,54	1,43
7	22,98	4,12	0,47	68,11	0,93	0,15	3,23	0,95	5	8,74	74,24	9,88	10,13	1,44
8	22,54	4,04	0,47	68,68	0,94	0,14	3,19	0,98	5	8,54	80,52	3,88	9,89	1,44
9	23,86	2,93	0,48	68,46	0,9	0,19	3,18	0,95	7	6,1	77,06	10,26	6,95	1,46

Есептеу нәтижесі 6 кестеде келтірілгендей, клинкердің химиялық құрамында Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> мөлшері 0,46–0,48 %-ды құрады, бұл талап бойынша белгіленген 0,3–0,5 %-дан жоғары емес екендігін көрсетеді. Клинкердің минералогиялық құрамында қанығу коэффициентінің мәнін 0,88-ден 0,98-ге дейін жоғарлатқанда алит (C<sub>3</sub>S) минералының үлесі 55 %-дан - 80,0 %-ға дейін жоғарлағаны және керісінше белит (C<sub>2</sub>S) минералының үлесі 23,5 %-дан 3,6 %-ға дейін төмендегені анықталды. Есептеулерге сәйкес, 0,95-0,98 жоғары қанығу коэффициенті бар клинкерлерде алит мөлшері 70-76 % және 4-9 % аз мөлшерде белит шығуы сапалы ақ портландцемент клинкерді алуға тиімді болып табылады. Аралық фазаның (C<sub>3</sub>A+C<sub>4</sub>AF) мөлшері 16,5 %-дан 7,5 %-ға дейін төмендеді. Ақ портландцемент клинкерді алу үшін клинкер құрамында C<sub>4</sub>AF минералы минималды мөлшерде 3-5 %-дан төмен болу керек талабы қойылған. Аталған есептеу нәтижесінде C<sub>4</sub>AF минералының үлесі 1,5 %-да жетпейді. C<sub>3</sub>S минералының үлесі 50-60 %-дан жоғары болуы қойылған талаптарды толық орындалғанын көрсетеді.

Кесте 7. «Әктас + каолин Ангрен + электротермофосфор шлагы» шикізат шихталардың күйдіру индексі және күйдіру коэффициенті.

Қоспа №	ҚК	Модульдер		Сұйық фаза саны, L %	Күйдіру индексі (онтайлы 2,5-3,0)	n*p	Жентектелу коэффициенті (онтайлы 0,5-0,6)	Гидравликалық модуль (онтайлы 1,7-2,4)	Материалдың футеровкаға жабысу критеріі (онтайлы 3,0-3,5)	Жылу калометриялық модуль (онтайлы 0,3-1,8)
		n	p							
1	0,88	3,5	13,14	23,41	3,33	45,98	0,7	2,26	3,77	2,84
2	0,88	4	11,54	24,33	3,23	45,69	0,62	2,23	3,44	2,91
3	0,9	3,5	12,94	18,11	5,28	45,4	1,12	2,35	5,55	3,37
4	0,95	3,5	12,48	17,59	6,42	43,68	1,35	2,47	5,57	7,45
5	0,98	3,5	12,22	17,29	7,1	42,7	1,50	2,54	5,58	17,01
6	0,9	5	9,08	23,14	3,64	45,3	0,77	2,3	3,77	3,60
7	0,95	5	8,74	22,48	4,43	43,7	0,94	2,41	3,78	7,88
8	0,98	5	8,54	22,11	4,9	42,8	1,04	2,48	3,79	17,82
9	0,95	7	6,1	14,01	9,17	42,73	1,91	2,51	8,15	7,17

7 кестеде келтірілген нәтижеде, күйдірілетін клинкердің өндірістік көрсеткіштеріне сипаттама жасай отырып, зерттеліп отырған үш компонентті шихталардың күйдіру қабілеті қиын жүретіндігі анықталды. Сұйық фазаның мөлшері төмен, 23-тен 17,5% -ға дейін азаюда. Сұйық фазаның мөлшері ҚК және силикат модуліне байланысты өзгереді. ҚК және глиноземді модуль артқан сайын клинкердің сұйық фазасының мөлшері азаяды, бұл ақ клинкерді күйдіруді қиындатады. Күйдіру индексі, жентектелу коэффициенті және футеровкаға жабысу критерийі оңтайлы мәндерден жоғары. ҚК шамасы мен силикат модуль артқан сайын бұл критерийлер нашарлай түсуде.

Есептеу нәтижесінде алынған шикізат шихта құрамдардың көмегімен 1450 және 1500 °С температурада ақ портландцемент клинкер алу үшін күйдіру жұмыстары орындалды. Алынған клинкердің сапасын анықтау мақсатында құрамында байланыспаған бос СаО мөлшері анықталды. Зерттеу жұмысының нәтижелері 8 және 9 кестелерде көрсетілген.

Кесте 8. «Әктас + каолин Көкшетау + электротермофосфор шлагы» шихта құрамының СаО байланысу процесіне және клинкерлердің ақтығына әсері.

Қоспа №	Шикізат құрамы, %			ҚК	Модульдер		Бос СаО мөлшері, % күйдіру температурасында 1500, °С	Ақтық дәрежесі, %	008 електегі қалдық, %
	әктас	каолин Көкшетау	фосфор шлак		п	р			
1	76,43	20,73	5,81	0,88	3,5	17,27	0,54	78	3,5
2	73,85	20,38	5,77	0,90	3,5	16,9	0,88	76,8	5
3	74,79	19,55	5,66	0,95	3,5	16,15	0,95	78,1	7,3
4	75,32	19,07	5,60	0,98	3,5	15,7	0,95	77,7	4,2
5	70,88	16,68	12,44	0,90	4,0	14,0	1,22	75,1	5,7
6	71,98	15,94	12,08	0,95	4,0	13,37	1,22	75,2	6,5
7	72,59	15,52	11,89	0,98	4,0	13,00	1,62	77,2	7,4
8	66,19	10,82	22,98	0,90	5,0	10,3	1,08	74,9	3,2
9	67,55	10,26	22,19	0,95	5,0	9,85	1,48	71,3	6,9
10	64,22	6,0	29,78	0,95	6,0	7,72	2,7	74,1	1

«Әктас + каолин Көкшетау + электротермофосфор шлагы» шикізат шихталарды 1500 °С температурада күйдіру нәтижесінде алынған клинкерлердің құрамындағы байланыспаған бос СаО мөлшері 0,54-2,7 % аралығында болды. Мұнда №10 клинкер құрамында байланыспаған бос СаО мөлшері 2 % артық болуы оның ГОСТ 30108-2020 талаптарына (ГОСТ 31108-2020, 2019) сәйкес келмейтіндігін көрсетті.

Алынған клинкерлердің ақтық дәрежесі 74,1 – 78,1 % көрсетті. Бұл жалпы 2-ші дәрежелі ақ цементтерді алуға мүмкіндік береді. Шикізат шихта құрамында фосфор шлагының мөлшері 22-29 %-ға дейін артқан сайын клинкердің ақтық дәрежесі аздап төмендейді. Клинкердің ең жақсы ақтық дәрежесі (77-78%) 5-6 % ғана фосфор шлак ендірілген құрамдарда қол жеткізілген. Силикатты модульді 5-6-ға дейін арттыру клинкер күйдіруді қиындатады және клинкерлердегі бос СаО мөлшерін 1,6 %-дан 2,7 %-ға дейін арттырып алып келді.

Кесте 9. «Әктас + каолин Ангрен + электротермофосфор шлагы» шихта құрамының СаО байланысу процесіне және клинкерлердің актығына әсері.

Қоспа №	Шикізат құрамы, %			ҚК	Модульдер		Бос СаО мөлшері, % күйдіру температурасында, °С		Актық дәрежесі, %		008 електегі қалдық, %	
	әктас	каолин Ангрен	фосфор шлак		n	р	1450	1500	1450	1500	1450	1500
1	75,37	18,33	5,8	0,88	3,5	13,14	-	0,27	-	78	-	4,4
2	71,94	15,38	13,67	0,88	4	11,54	-	0,27	-	75,2	-	7,9
3	75,74	18,56	5,76	0,9	3,5	12,94	-	0,54	-	80,7	-	8,9
4	76,61	17,79	5,66	0,95	3,5	12,48	-	0,68	-	80,6	-	7,3
5	77,11	17,35	5,6	0,98	3,5	12,22	-	1,08	-	82,1	-	5,9
6	67,12	9,78	23,13	0,9	5	9,08	0,54	0,81	79,5	75	3,2	10,2
7	68,41	9,27	22,32	0,95	5	8,74	0,68	0,95	72,5	72,5	8,9	10
8	69,18	8,98	21,87	0,98	5	8,54	0,95	1,08	71,4	76,8	6,7	8,9
9	61,85	2,4	35,76	0,95	7	6,1	0,68	1,35	73,3	73,2	4,3	5,54

«Әктас + каолин Ангрен + электротермофосфор шлагы» шикізат шихталарды 1450 және 1500 °С температурада күйдіру нәтижесінде алынған клинкерлердің құрамындағы байланыспаған бос СаО мөлшері 2 % төмен болды. Бұл ГОСТ 30108-2020 талаптарына толық сәйкес келеді. Алынған клинкерлердің актық дәрежесін анықтау кезінде фосфор шлагының мөлшері ең аз болған №3, 4 және 5 клинкерлерде 80,6 - 82,1% құрады — бұл клинкерлер 1-ші дәрежелі ақ цементтер типіне жатады. Фосфор шлак мөлшері 21,8 – 35,7 %-ға дейін артқан сайын клинкерлердің актығы 72 – 76,8 %-ға дейін төмендеді (2 және 3-ші дәрежелі ақ цемент). Бұл клинкер құрамында фосфор шлагының үлесінің артуы мен және фосфор шлагының құрамында темір оксидінің мөлшерінің айтарлықтай жоғары болуымен (0,47 %) түсіндіріледі, бұл ақ клинкерде төрт кальцийлі алюмоферрит минералының көп мөлшерде түзілуіне алып келді (Taimasov and Klassen, 2017).

Қорытынды. Зерттеу жұмысының нәтижесінде келесідей қорытынды жасалды:

1. Ақ портландцемент клинкерді алу үшін «Шихта» бағдарламасында «Әктас + каолин Көкшетау + электротермофосфор шлагы» және «Әктас + каолин Ангрен + электротермофосфор шлагы» шикізат шихта құрамдары есептелді. Нәтижесінде оңтайландырылған шикізат шихта құрамдары мен теориялық алынатын клинкерлердің химиялық және минералогиялық құрамдары анықталды. Клинкердің шикізат түріне, қанығу коэффициентіне, силикатты және глиноземді модульдерге тәуелділік заңдылықтары айқындалды. Ақ портландцемент клинкер алу үшін шихта құрамына 5 – 35 % дейін электротермофосфор шлагын ендіру мүмкіндігі белгіленді.

2. Әзірленген «Әктас + каолин Көкшетау + электротермофосфор шлагы» шикізат шихта құрамдарда клинкер түзілу процесі 1500 °С температурада аяқталғаны және СаО<sub>бос</sub> мөлшері 0,54–1,62 % аралығында болғаны анықталды. Алынған клинкерлердің актық дәрежесі 74,1–78,1 % болды, бұл 2-ші дәрежелі ақ цементтерді алуға жарамды клинкер екендігі анықталды.

3. Әзірленген «Әктас + каолин Ангрен + электротермофосфор шлагы» шикізат

шихта құрамдарда клинкер түзілу процесі 1450-1500 °C температурада аяқталғаны және  $\text{CaO}_{600}$  мөлшері 0,27–1,35 % аралығында болғаны анықталды. Алынған клинкерлердің ақтық дәрежесі 71,4–82,1 % болды, бұл 1-ші және 2-ші дәрежелі ақ цементтерді алуға жарамды клинкер екендігі анықталды.

Қорытындылай келе, жүргізілген есептеу және клинкер күйдіру жұмыстарының нәтижесінде электротермофосфор шлагын шихта құрамына ендіру әсерінен жоғары сапалы, ақтық дәрежесі 1-ші және 2-ші болатын портландцемент клинкерін алуға толықтай мүмкіндік бар екендігі дәлелденді.

### References

Arusmalem G., Damar H.P., Bing S., Prasetya A. (2022) Comparison of Compressive Strength of Concrete using white Portland cement with Gray cement. *Journal Teknik sipil & perencanaan*. – 24. – P. 01-07. (in English)

Brett D.Y., Smith J.L. (2008) *Technology of Portland cement: textbook for institutes of higher education*, Michigan Technical Institute: USA. – 345 p. (in English)

Cement Industry Net Zero Progress Report 2024/25. Global Cement and Concrete Association. On this link. <https://gccassociation.org/wp-content/uploads/2024/11/GCCA-Cement-Industry-Progress-Report-202425.pdf> 10.11.2024. (in English)

Chatterjee A.K. (2018) *Cement production technology: principles and practice*, CRC Press: USA. – 419 p. (in English)

Euronext Sustainability Week 2025. Cementirholding. On this link. [https://www.cementirholding.com/sites/default/files/documenti/2025-09/InvestorPresentation%20ESG%20Sept%202025\\_0.pdf](https://www.cementirholding.com/sites/default/files/documenti/2025-09/InvestorPresentation%20ESG%20Sept%202025_0.pdf) 10.09.2025. (in English)

GOST 31108-2020 (2019) *Tsementy obshchestroitel'nyye. Tekhnicheskiye usloviya*. [General construction cements. Technical specifications.]. Standard Inform Publishing House: Moscow, Russia. – 18 p. (in Russian)

GOST 5382-2019 (2019) *Tsementy i materialy tsementnogo proizvodstva. Metody khimicheskogo analiza*. [Cements and materials for cement production. Methods of chemical analysis.]. Standard Inform Publishing House: Moscow, Russia. – 30 p. (in Russian)

Makarova I.A., Lokhova N.A. (2011) *Fiziko-khimicheskiye metody issledovaniya stroitel'nykh materialov* [Physico-chemical methods of research of building materials]. BSU edition: Belarus. – 2011. – 139 p. (in Russian)

Mohamed B., Rabah A., Amel J., Abdesslem Ben H.A., Hafsia Ben R. (2016) Morphological analysis of white cement clinker minerals: Discussion on the crystallization-related defects. *International Journal of Analytical Chemistry*. – 4. – P. 1-10. (in English)

Myrzakozha D.A., Mirzakhodzhaev A.A. (2014) *Zamanai zertteu adisteri* [Modern research methods]. Almaty. – 2014. – 352 p. (in Kazakh)

Patent CN110698089B (2019) White portland cement clinker and preparation process thereof. Sichuan Zongsheng Special Cement Co Ltd. – 8 p. (in English)

Pereskok S.A., Bandurin A.A., Filippov P.A., Serkina N.N., Shirshov D.S. (2010) *Metodicheskoye rukovodstvo po primeneniuyu programmy «Shikhta»* [Methodological guidance on the use of the «Mixture» program]. V.G. Shukhov BSTU: Belgorod, Russian Federation. (in Russian)

Taimasov B.T., Klassen V.K. (2017) *Khimicheskaya tekhnologiya vyazhushchikh materialov* [Chemical technology of binding materials]. Publishing house of BSTU: Belgorod. – 448 p. (in Russian)

White Cement Market (2025-2030). Market Analysis Report. On this link. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/white-cement-market-report> 30.12.2025. (in English)

White cement market size & share analysis – Growth trends and forecast (2026-2031). Mordor Intelligence. On this link. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/white-cement-market> 07.01.2026. (in English)

Zhanikulov N.N., Taimasov B.T., Borisov I.N., Dzhanmuldaeva Zh.K., Dauletiarov M.S. (2020) Research on the obtaining of low energy cements from technogenic raw materials. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. – 4. – P. 814-823. (in English)

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

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

Submission of an article to the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The Central Asian Academic Research Center LLP follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](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.