

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF CHEMISTRY**

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

**№3
2026**

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



ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

3 (468)

JULY – SEPTEMBER 2026

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY

Editor in chief:

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

Editorial board:

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich (deputy editor-in-chief) doctor of chemical sciences, professor, academician of NAS RK, director of the JSC "Phytochemistry Research and Production Center" (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan № KZ23VPY00121156, issued 05.06.2025

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

Periodicity: 4 times a year.

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

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2026

Бас редактор:

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

Редакция алқасы:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

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

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

Периодичность: 4 раз в год.

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

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

Главный редактор:

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY»

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

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

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

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

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

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2026

CONTENTS

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

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

МАЗМҰНЫ

Абдугалимов А.Ш., Джалмаханбетова Р.И., Мукушева Г.К. Бетулон қышқылының химиялық құрылымына еріткіштер әсерін атомистикалық тұрғыдан зерттеу	11
Асембаева Э.К., Шәді Д.Қ., Нурмуханбетова Д.Е., Божбанов А.Ж., Габдуллина Е.Ж. Инулиннің ірімшік сарысуы негізіндегі ашытылған сусынның сапа көрсеткіштеріне әсері.....	25
Асылбекова Д.Д., Токтыбаева Х.Р., Қалдыбаева А.Р., Журхабаева Л., Түкібаева А.С. Фосфорлы қышқылдың платина электродындағы электрохимиялық қасиеттері және оны қорғасын анодын қолданып гальваностатикалық анодты тотықтыру.....	39
Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Джолдасова Э.М. Қышқылды-сілтілі комбинациялық әдіспен серпентиниттен алынған кремнеземнің адсорбциялық сипаттамаларын зерттеу	58
Ғалымжан А., Қожабеков С., Қуанышев А., Сансызбай Н., Абдрасилова А. Октадецилметакрилат пен малеин ангидридi сополимерлері құрамының мұнайдың реологиялық қасиеттеріне әсері	78
Дарменбаева А.С., Rajasekharan R. Агроқалдықтардан алынған наноцеллюлозалы мембраналардың құрылымдық қасиеттерін зерттеу.....	95
Дмитриева Е.А., Медведев А., Кемелбекова А. SnO ₂ жұқа қабықшалары негізіндегі төмен температуралы газ сенсорын және жоғары кедергілерді тіркеуге арналған прецизионды өлшеу жүйесін әзірлеу.....	109
Джелдыбаева И.М., Қайырбеков Ж., Есеналиева М.З., Досумова Б.Т., Суймбаева С.М. Ультрадыбыстық өңдеудің қоңыр көмір гумин қышқылдарының құрылымы мен физика-химиялық қасиеттеріне әсері.....	125
Джумадилов Т.К., Химэрсэн Х., Иманғазы А. Біртекті полиэлектролиттерден құрылған интерполимерлік жүйелердің ауыр металл иондарын сорбциялау ерекшеліктері.....	140
Жылқыбек М., Оразбекова Р.С., Еркибаева М.К., Айдарова А.О., Байжұманова Т.С. Метанды терең тотықтыруға арналған Co–Mg оксидті катализаторлар: синтезі, құрылымы және каталитикалық белсенділігі.....	154
Иманғалиева Б., Рахметова Г., Досанова Б., Совет Н. Полимер қалдықтарын гидролиздік өңдеу арқылы биологиялық тыңайтқыш алу технологиясы.....	169
Қарар М.Е., Бейсенбаев О.К., Алибеков Р.С., Роснах Шамсудин. Байдалы күрішпен және Гала сортты картоптан крахмал алу және оны биоыдырайтын материалдарда қолдану.....	186
Құдайбергенова Г.Н., Азимбаева Г.Е., Камысбаева А.К., Ізтелеу Б.М., Құрбанбаева Н.М. Топинамбур гүлдерінің май қышқылдық құрамы	204

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

СОДЕРЖАНИЕ

Абдугалимов А.Ш., Джалмаханбетова Р.И., Мукушева Г.К. Атомистическое исследование влияния растворителей на химическую структуру бетулоновой кислоты.....	11
Асембаева Э.К., Шади Д.К., Нурмуханбетова Д.Е., Божбанов А.Ж., Габдуллина Е.Ж. Влияние инулина на показатели качества ферментированного напитка на основе сырной сыворотки	25
Асылбекова Д.Д., Токтибаева Х.Р., Калдыбаева А.Р., Журхабаева Л., Тукибаева А.С. Электрохимическое поведение фосфористой кислоты на платиновом электроде и её гальваностатическое анодное окисление с использованием свинцового анода.....	39
Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Джолдасова Э.М. Исследование адсорбционных характеристик кремнезёма, полученного из серпентинита комбинированным кислотно-щелочным методом	58
Галымжан А., Кожабеков С., Куанышев А., Сансызбай Н., Абдрасилова А. Влияние состава сополимеров октадецилметакрилата и малеинового ангидрида на реологические свойства нефти	78
Дарменбаева А.С., Rajasekharan R. Исследование структурных свойств наноцеллюлозных мембран, полученных из агроотходов.....	95
Дмитриева Е.А., Медведев А., Кемелбекова А. Разработка низкотемпературного газового сенсора на основе тонких плёнок SnO_2 и прецизионной измерительной системы для регистрации высокоомных сопротивлений.....	109
Джелдыбаева И.М., Каирбеков Ж., Есеналиева М.З., Досумова Б.Т., Суймбаева С.М. Влияние ультразвуковой обработки на структуру и физико-химические свойства гуминовых кислот бурого угля	125
Джумадилов Т.К., Химэрсэн Х., Имангазы А. Особенности сорбции ионов тяжёлых металлов интерполимерными системами, сформированными из однородных полиэлектролитов.....	140
Жылкыбек М., Оразбекова Р.С., Еркибаева М.К., Айдарова А.О., Байжуманова Т.С. Co–Mg оксидные катализаторы для глубокого окисления метана: синтез, структура и каталитическая активность	154
Имангалиева Б., Рахметова Г., Досанова Б., Совет Н. Технология получения биологического удобрения путём гидролизной обработки полимерных отходов	169
Карар М.Е., Бейсенбаев О.К., Алибеков Р.С., Роснах Шамсудин. Получение крахмала из риса «Байдалы» и картофеля сорта «Гала» и его применение в биоразлагаемых материалах	186
Кудайбергенова Г.Н., Азимбаева Г.Е., Камысбаева А.К., Изтелеу Б.М., Курбанбаева Н.М. Жирнокислотный состав цветков топинамбура	204

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

© **Rakhimov A.¹, Zhanikulov N.^{2*}, Taimasov B.¹, Potapova E.³,
Sarsenbaev B.¹, 2026.**

¹M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Kazakhstan;

¹Academician Ye.A. Buketov Karaganda National Research University,
Karaganda, Kazakhstan;

³D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, Moscow, Russia.

E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru

CALCULATION OF THE RAW MATERIAL COMPOSITION FOR CEMENT CLINKER WITH THE ADDITION OF LEAD SLAG PROCESSING WASTE

Rakhimov Aidos — PhD student of M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,
E-mail: aidos_0194@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-3671-148X>;

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>;

Potapova Ekaterina — Doctor of technical sciences, Professor, D.I. Mendeleev Russian University of
Chemical Technology, Moscow, Russia,

E-mail: Potapova.e.n@muctr.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5796-2265>;

Sarsenbaev Bakytzhan — Doctor of technical sciences, professor, M. Auezov South Kazakhstan
University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: stroitelstvo_ukgu@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6306-2562>.

Abstract. This scientific article calculated the composition of a raw material mixture for producing Portland cement clinker using waste from lead slag processing. Improving the efficiency of Portland cement clinker production through the recycling of production waste is currently a pressing issue worldwide. This reduces the negative impact on the environment, saves energy and resources, and improves production efficiency. The article calculates the compositions of three-component raw material mixtures consisting of "Limestone + Loess + Iron Ore" and "Limestone + Loess + Lead Slag Waste." The calculations were performed using the modern "Batch" program used in production. The calculations present the results of a study examining the efficiency of traditional and non-traditional raw material mixture compositions, as well as the quality of the clinker obtained from them. The calculation results showed that, compared to the "Limestone

+ loess + iron ore" composition, the use of a charge consisting of "Limestone + loess + lead slag waste" allows for an increase in the recycling of slag waste by 3,7–4,6% and a saving of natural resources by 4–4,2%. The firing of raw material charges for the traditional "Limestone + loess + iron ore" composition was carried out at a temperature of 1450 °C, and for the "Limestone + loess + lead slag waste" composition — at a temperature of 1400 °C. In the resulting traditional clinker, with an increase in the saturation coefficient (SC) from 0,93 to 0,95, the C_3S content increased to 61,7–66,59%, while the C_2S content decreased from 13,75% to 10,07%. The C_3A content increased from a negative value of –0,54% to 0,95%. The amount of liquid phase C_3A+C_4AF was 17,3–18,9%. In non-traditional clinker, with an increase in SC from 0,93 to 0,95, the C_3S content reached 59,36–64,63%, while the C_2S content decreased from 14,59% to 10,8%. The C_3A content was 0,14–1,48%. The amount of liquid phase C_3A+C_4AF was 17,2–18,3%. It was found that the content of free calcium oxide in the composition of the obtained clinkers (CaO_{free}) was within 0,31–0,67%, which confirms compliance with the GOST requirements, according to which this indicator should not exceed 2%.

Keywords: waste, lead slag, recycling, raw material charge, clinker, free CaO , cement

For citations: Rakhimov A., Zhanikulov N., Taimasov B., Potapova E., Sarsenbaev B. Calculation of the raw material composition for cement clinker with the addition of lead slag processing waste. Academic Scientific Journal of Chemistry, 2026. — No. __. — P. – 285–298. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1491.401>.

© Рахимов А.¹, Жаникулов Н.^{2*}, Таймасов Б.¹, Потапова Е.³,
Сәрсенбаев Б.¹, 2026.

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан;

²Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті,
Қарағанды, Қазақстан;

³Д.И. Менделеев атындағы Ресей химиялық технология университеті,
Мәскеу, Ресей.

E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru

ҚОРҒАСЫН ҚОЖЫН ӨНДЕУ ҚАЛДЫҚТАРЫ ҚОСЫЛҒАН ЦЕМЕНТ КЛИНКЕРІНІҢ ШИКІЗАТ ШИХТА ҚҰРАМЫН ЕСЕПТЕУ

Рахимов Айдос — PhD докторант, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: aidos_0194@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-3671-148X>;

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

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

Потапова Екатерина — техника ғылымдарының докторы, профессор, Д.И. Менделеев атындағы Ресей химиялық технология университеті, Мәскеу, Ресей,

E-mail: Potapova.e.n@muctr.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5796-2265>;

Сәрсенбаев Бақытжан — техника ғылымдарының докторы, профессор, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: stroitelstvo_ukgu@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6306-2562>.

Аннотация. Ғылыми мақалада қорғасын қожын өңдеу қалдықтарын пайдалану арқылы портландцемент клинкерін өндіруге арналған шикізат шихтасының құрамы есептелді. Өндірістік қалдықтарды кәдеге жарату негізінде портландцемент клинкерін өндіру тиімділігін арттыру қоршаған ортаға түсетін жүктемені төмендетуге, энергия мен табиғи ресурстарды үнемдеуге және өндіріс тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Зерттеуде «экстас + лесс + темір рудасы» және «экстас + лесс + қорғасын қожының қалдығы» түріндегі үш компонентті шикізат шихталарының құрамы есептелді. Есептеулер өндірісте қолданылатын «Шихта» бағдарламасының көмегімен жүргізілді. Дәстүрлі және баламалы шикізат құрамдарының тиімділігі мен олардан алынған клинкердің сипаттамалары салыстырылды. Есептеу нәтижелері бойынша «экстас + лесс + темір рудасы» құрамымен салыстырғанда «экстас + лесс + қорғасын қожының қалдығы» шихтасын пайдалану қож қалдықтарын кәдеге жарату деңгейін 3,7–4,6%-ға арттырып, табиғи ресурстарды 4,0–4,2%-ға үнемдеуге мүмкіндік беретіні анықталды. Дәстүрлі шикізат шихтасы 1450 °C температурада, ал қорғасын қожы қалдығы енгізілген шихта 1400 °C температурада күйдірілді. Дәстүрлі клинкерде қанығу коэффициенті 0,93-тен 0,95-ке дейін артқанда C_3S мөлшері 61,7–66,59%-ға дейін өсті, ал C_2S мөлшері 13,75%-дан 10,07%-ға дейін төмендеді. C_3A есептік мөлшері –0,54%-дан 0,95%-ға дейін өзгерді, ал $C_3A + C_4AF$ сұйық фазасының мөлшері 17,3–18,9% болды. Баламалы клинкерде қанығу коэффициенті 0,93-тен 0,95-ке дейін артқанда C_3S мөлшері 59,36–64,63%-ға жетіп, C_2S 14,59%-дан 10,8%-ға дейін төмендеді. C_3A мөлшері 0,14–1,48%, ал $C_3A + C_4AF$ мөлшері 17,2–18,3% болды. Алынған клинкерлердегі бос кальций оксидінің мөлшері 0,31–0,67% аралығында болып, рукописьте келтірілген МЕМСТ талабы бойынша белгіленген 2%-дық шектен аспады.

Түйін сөздер: қалдықтар, қорғасын қожы, кәдеге жарату, шикізат шихтасы, клинкер, бос CaO , цемент

© Рахимов А.¹, Жаникулов Н.^{2*}, Таймасов Б.², Потапова Е.³,
Сарсенбаев Б.¹, 2026.

¹Южно-Казахстанский университет имени Ауэзова, Шымкент, Казахстан;

²Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан;

³Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Москва, Россия.

E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru

РАСЧЕТ СОСТАВА СЫРЬЕВОЙ ШИХТЫ ДЛЯ ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА С ДОБАВЛЕНИЕМ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ СВИНЦОВОГО ШЛАКА

Рахимов Айдос — PhD докторант, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: aidos_0194@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-3671-148X>;

Жаникулов Нургали — доктор 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 им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

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

Потапова Екатерина — доктор технических наук, профессор, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Москва, Россия,

E-mail: Potapova.e.n@muctr.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5796-2265>;

Сарсенбаев Бакытжан — доктор технических наук, профессор, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: stroitelstvo_ukgu@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6306-2562>.

Аннотация. В статье выполнен расчёт состава сырьевой шихты для получения портландцементного клинкера с использованием отходов переработки свинцового шлака. Повышение эффективности производства портландцементного клинкера за счёт утилизации промышленных отходов позволяет снижать нагрузку на окружающую среду, экономить природные ресурсы и повышать ресурсную эффективность производства. Рассчитаны составы трёхкомпонентных сырьевых шихт «известняк + лёсс + железная руда» и «известняк + лёсс + отход свинцового шлака». Расчёты выполнены с использованием программы «Шихта». Проведено сравнение традиционного и альтернативного составов сырьевых смесей, а также характеристик полученного клинкера. Установлено, что по сравнению с составом «известняк + лёсс + железная руда» применение шихты «известняк + лёсс + отход свинцового шлака» позволяет увеличить степень утилизации шлаковых отходов на 3,7–4,6% и обеспечить экономию природных ресурсов на 4,0–4,2%. Традиционную сырьевую шихту обжигали при 1450 °С, тогда как состав с отходом свинцового шлака - при 1400 °С. В традиционном клинкере при увеличении коэффициента насыщения с 0,93 до 0,95 содержание C_3S достигало 61,7–66,59%, а содержание C_2S снижалось с 13,75 до 10,07%. Расчётное содержание C_3A

изменялось от $-0,54$ до $0,95\%$, а количество жидкой фазы $C_3A + C_4AF$ составляло $17,3-18,9\%$. В альтернативном клинкере содержание C_3S составляло $59,36-64,63\%$, C_2S снижалось с $14,59$ до $10,8\%$, содержание C_3A находилось в диапазоне $0,14-1,48\%$, а $C_3A + C_4AF$ — $17,2-18,3\%$. Содержание свободного оксида кальция в полученных клинкерах составляло $0,31-0,67\%$, что не превышает приведённое в рукописи нормативное ограничение 2% .

Ключевые слова: отходы, свинцовый шлак, утилизация, сырьевая шихта, клинкер, CaO свободный, цемент

Кіріспе. Дүние жүзінде цемент өндірісі жылына шамамен 4,3 миллиард тоннаны құрайды. Ал бір тонна цемент үшін орташа есеппен 1,6 тоннаға жуық шикізат шығыны жұмсалады (IEA, 2024). 2026 жылдың бірінші жартысында Қазақстандық кәсіпорындар 6,9 млн тонна портландцемент өндірді, бұл 2025 жылдың аталған кезеңімен салыстырғанда 5 % көп. Аталған көрсеткіш Қазақстан үшін 2008 жылдан бастап есептегенде ең жоғары нәтиже болып саналады. Тұрақты өсім арқылы цемент өндірісі Қазақстанда өнеркәсіптік өсімнің негізгі қозғаушы күшіне айналды (Cement, 2026).

Цемент өндірісінде әр түрлі процестерден алынған қалдықтарды немесе қосалқы өнімдерді шикізат ретінде пайдалану ресурстарды үнемдеу, өндіріс шығындарын төмендету, қоқыс полигондағы қалдық көлемін азайту, парникті газдар шығарындыларын қоршаған ортаға тигізер әсерді азайтудың кең таралған тәжірибесі болып саналады. Сонымен қатар, бұл тәсіл цемент өндірісінде тұрақты пайда әкеледі, себебі балама шикізат көзі құрамында кездесетін ластаушы элементтердің көпшілігі клинкердің минерал түзілу процесінде иммобилизацияланады. Екінші жағынан кейбір элементтер цемент клинкерінің қасиеттерін айтарлықтай жақсартуы немесе тым артық болса нашарлатуы мүмкін. Осы себептен өнеркәсіп қалдықтардың ерекше сипаттамаларын ескеретін тиісті мөлшерлеу/есептеу әдісін қолдануды қажет етеді (Hanein et al., 2020).

Шикізат шихта құрамын есептеу портландцементтің және клинкердің теориялық немесе әлеуетті құрамын бағалауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс немесе есептеу бағдарламалары химиялық модульдермен (глиноземді (ГМ), силикатты (СМ) және әктің қанығу коэффициенті (КК)) бірге зерттеулер мен өнеркәсіптік қолданбаларда шикізат қоспасын таңдау үшін жиі қолданылады (Scrivener et al., 2022). Есептеулер шикізаттың тепе-теңдік жағдайында клинкер қосылыстарын түзу үшін толық реакциясын болжайды және қоспалардың ықтимал әсерін ескермейді. Дегенмен, есептеулер клинкер құрамы үшін тек шамамен мәндерді береді, ал өнеркәсіптік клинкер теориялық болжамдардан шамалы ауытқуларды көрсетеді. Сонымен қатар, клинкер фазасының тұрақтылығына әсер етуіне байланысты қоспалардың қатысуымен ауытқулар одан әрі артуы мүмкін, бұл өз кезегінде цементтің соңғы қасиеттеріне әсер етеді. Температураның, пеш атмосферасы құрамының өзгеруі, шамалы элементтердің болуы және салқындату кезінде тепе-теңдік жағдайларының болмауы клинкер фазаларының дамуына әсер етуі мүмкін. Осылайша шихта құрамының есептеулерін пайдаланып

бағаланған фазалық құрамның дәлдігін төмендетеді. Балама шикізат немесе отын құрамындағы қосымша элементтер клинкер түзілу процесіне әсер етеді. Бұл компоненттердің табиғаты мен мөлшері клинкер фазаларының морфологиясы мен үлесі, қосымша фазалардың түзілуі, оңтайлы клинкерлеу температурасы, пеште болу уақыты, балкытылған фазаның тұтқырлығы, салқындатудың түрлендірулері, негізгі фазалардың полиморфизмі және клинкердің реактивтілігі сияқты әртүрлі аспектілерде айтарлықтай өзгерістерге әкелуі мүмкін. Бұл сценарийде шихта құрамын оңтайландыруды тиімді модельдеу айнымалылардың барлығын ескеру және пайдалануға болатын балама материалдардың ауқымын кеңейту үшін балама құрал болып табылады (Costa et al., 2023).

Әдебиеттерге шолу. Ғалымдар цемент клинкер өндіру процесін жетілдіруде динамикалық модельдеуді ұсынды. Бұл модель арқылы CO_2 шығарындыларын азайту, отын шығынын төмендетуді қамтамасыз етудің баламалы стратегияларын әзірледі. Жүйелі тәсілді қолдана отырып, модель геометриялық аспектілерді, термофизикалық қасиеттерді, тасымалдау құбылыстарын, стехиометрия мен кинетиканы, масса мен энергия баланстарын және көлем мен энергияның сақталуының алгебралық заңдарды біріктіре отырып, егжей-тегжейлі деңгейде сипаттады. Модельді эталондық тұрақты күйге колмен калибрлеу арқылы күтілетін эталондық мәндерге және өнеркәсіптік тәжірибеге тән күтілетін динамикалық модельдеу нәтижелері алынды (Svensen et al., 2025). Клинкер сапасын сақтай отырып, өндіріс шығындарын және көмірқышқыл газының (CO_2) шығарындыларын бір мезгілде азайту үшін шикізат қоспасын жобалау мен балама отынды араластыруды біріктіретін көп мақсатты оңтайландыру моделін ұсынды. Қатаң химиялық және технологиялық шектеулер кезінде экономикалық және экологиялық мақсаттар арасындағы тепе-теңдікке қол жеткізу үшін гибридіті генетикалық алгоритм-сызықтық бағдарламалау (GA-LP) моделін жасаған. Бұл тәсіл шикізат пен күлдің клинкер сапасының маңызды атрибуттарына: әктің қанығу коэффициентіне, кремний диоксиді силикатты модулге және алюминий диоксиді глиноземді модулге әсерін модельдейді. Ол максималды алмастыру коэффициенттері және отынның нақты құрамы сияқты практикалық шектеулерді ескерген. Зерттеуде Африкадағы цемент зауытынан шабыттанған кейс-стади модельдің пайдалылығын көрсеткен. Нәтижелер оңтайлы шешімдердің Парето деңгейін көрсетеді. Яғни бұл модельде CO_2 шығарындыларын 20 %-ға төмендетуге - 928-ден 740 кг/т клинкерге дейін - шығындарды тек 24 %-ға арттырумен қол жеткізуге болатынын көрсетеді. Оңтайлы стратегияларға 10 % ұшқын күл және 30-50 % балама отындар, мысалы, биомасса мен шиналардан алынған отын және күл құрамына негізделген шикізат қоспаның құрамын динамикалық реттеу кіреді. Сезімталдықты талдау биомасса құны мен ҚК мақсаттарының клинкер сипаттамаларына, шығарындыларға және отын үлесіне қалай әсер ететінін одан әрі көрсетілген. Гибридіті GA-LP моделі процесті модельдеу арқылы тексерілген және Африка мысалдарымен салыстырылған. Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері цемент өндірушілері мен саясаткерлерге таза нөлдік шығарындылар мақсаттары мен жаңа көміртегі ережелеріне сәйкес келетін тұрақты өндіріс стратегияларын

бағалау және енгізу үшін сенімді шешім екендігін ұсынған (Ige et al., 2025). Цемент өндірісінің қоршаған ортаға зиянды әсерін азайту мақсатында шикізаттың химиялық құрамы мен өндіріс жағдайларына негізделген клинкер фазаларын болжау және оңтайландыру арқылы қол жеткізуге болатындығын назарға алған. Цемент клинкері шикізатты пештерде күйдіру арқылы өндіріледі, мұнда шикізат құрамы да, өндеу жағдайлары да клинкердің соңғы химиялық құрамын анықтайды. Бұл зерттеуде шикізаттың химиялық құрамына негізделген алит және белитпен байытылған клинкердің фазалық байланыстарын талдау және дерекқор жасау үшін термодинамикалық модельдер қолданылған. Термодинамикалық модельдер клинкер фазаларын тәжірибелік нәтижелермен салыстыра отырып дәл көбейтуге мүмкіндік берген. Содан кейін модельденген дерекқор деректерге негізделген модельді оқыту үшін, ал алынған болжамдар әртүрлі күйдіру температураларында жоғары сапалы клинкер ($C_3S > 50\%$) алу үшін оңтайлы құрам диапазондарын анықтау үшін қолданылады. Сонымен қатар, клинкер фазаларына жету үшін әктің оңтайлы қанығу коэффициенті және алюминий оксидінің глиназемді модулі зерттелген. Жалпы алғанда, бұл зерттеу интеллектуалды және тұрақты цемент өндірісі процесін жасау үшін деректерге негізделген тәсілді қолдану әлеуетін көрсетеді (Goncalves et al., 2024). Кейбір ғалымдар шикізат қоспасын минималды шығынмен оңтайландыру, клинкер сапасын бақылаудың маңызды талаптарын қанағаттандыру үшін осы сызықтық бағдарламалау (LP) моделіу қолданған. Шикізат қоспасы мен отын қоспасын жобалау және клинкердің химиялық құрамы арасындағы байланысты орнату үшін бірқатар математикалық модельдер жасаған. Содан кейін шикізат қоспасы мен отын қоспасының оксид мөлшері мен клинкердегі C_3S , C_2S , C_3A және C_4AF фазаларының мөлшері арасындағы корреляцияны анықтау үшін Бау есептеуін қолданылған. Клинкер сапасын анықтау әктің қанығу коэффициенті (ҚК), кремний және алюминий оксидінің серпімділік модулі негізгі шектеулер ретінде анықталған. Зауыттың жобалау шектеулері, партиялық шкалалардың саны, бағдарлама шектеулері ретінде де қарастырылған. Сызықтық бағдарламалау (СБ) моделін бағалау үшін әктас, саз, құм, балама материал және қоспаларды қоса алғанда, сегіз түрлі шикізатты пайдаланып зерттеу жүргізген. Нәтижесінде GRG алгоритмін қолдана отырып, сызықтық емес СБ модельдеу негізінде 85,03 % әктас, 0,9 % саз 1 және 12,6% балама материал 1 және 1,47 % қоспа 2 тұратын RM 6,845/тонна құны бар оңтайландырылған шикізат қоспасының рецепті алынды. Алынған нәтижелер әзірленген СБ моделі шикізат шығындарын азайта алатынын, талдау уақытын үнемдейтінін және нақты сынақтан өткізбей-ақ шикізатты таңдау процесінде икемділік бере алатынын дәлелденген (Ponnusamy et al., 2022). Ғалымдар нейрондық желі және генетикалық алгоритм негізінде цемент клинкерін өндіру желісінің жұмысын оңтайландыру бойынша зерттеу жүргізген. Басқару параметрлері үшін мақсатты мәндерді табу сәтті басқарудың кілті болып табылады. Жұмыс параметрлері мен өнімділік параметрлері арасындағы байланыс әдетте сызықтық емес және күрделі болып табылады, бұл тек оператор тәжірибесіне негізделген өндірістік процесті тиімді басқаруды қиындатады. Нақты жұмыс деректерінің үлкен көлемін

пайдалана отырып, басқару параметрлері мен өнімділік параметрлері арасындағы байланысты құру үшін нейрондық желіні пайдалануға болады. Болжамдық модель нейрондық желіні пайдаланып жасалады. Бұл параметрлерді нақтылау үшін қолданылады, бұл байланысты генетикалық алгоритммен (ГА) біріктіру арқылы оңтайлы жағдайларға қол жеткізуге болады. Шамамен барлық болжам деректері (92,52%) $\pm 5\%$ аралығында екенін атап өткен. Шикізат шихтасының қоспаны беру жылдамдығы, көмірді алдын ала кальцинаторға беру жылдамдығы және айналмалы пешке көмір беру жылдамдығы үшін оңтайлы мәндер сәйкесінше 259,57 т/сағ, 7,84 т/сағ және 7,40 т/сағ құраған. Осы оңтайлы нәтиже жағдайларда көмірдің меншікті шығыны 80,00 кг-ға жеткен (Pan et al., 2024).

Қорытындылай келе, әдебиеттерге шолу жұмыстары бойынша әлемде цемент клинкерінің шикізат шихта құрамын есептеуде заманауи және жаңа тың идеялардың жүзеге асып, цемент өндірісінің негізгі процестерін оңтайландыру мүмкіндіктері бағаланды. Осы арқылы цемент клинкерінің сапасын арттырып, технологияны жетілдіріп, қоршаған ортаға тигізер зиянды азайту мүмкіндігі тиімді іске асуы бұл зерттеудің перспективті екендігін көрсетеді. Біздің зерттеудің негізгі артықшылығы қорғасын қожын өңдеуден кейінгі қалған қалдықты цемент клинкеріне шикізат ретінде қолданып, шихта құрамын есептеп, алынатын клинкердің сапасын болжамды түрде бағалау қарастырылған.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Портландцемент клинкер алу үшін қолданылатын шикізаттарға әктас, лесс, темір кені және қорғасын қожын өңдеу қалдықтары пайдаланылды. Ғылыми мақалада шикізаттардың химиялық құрамы анықтау, шикізат шихта құрамын есептеу және алынған клинкердің құрамындағы бос байланыспаған СаО мөлшерін анықтау нәтижелері келтірілген.

Шикізат материалдардың химиялық құрамын анықтау. Зерттеу рентгендік флуоресценциялық спектрометр (XRF) әдісімен анықталды. Аталған әдіспен зерттеу жұмысын жүргізу Malvern Panalytical компаниясы (Алмело, Нидерланды) жасап шығарған Zetium рентгендік флуоресценциялық спектрометрінің көмегімен ЖШС «Стандар Цемент» зауытының орталық зертханасында орындалды. Zetium рентгендік флуоресценциялық спектрометрі құрғақ ұнтақ тәрізді шикізаттарды экспресс-сынақ жасай алатын мүмкіндікке ие. Құрылғы Ве-ден U-ға дейінгі элементтерді анықтау кезінде 100 % көрсеткішті бере алады. Ғылыми-зерттеулерде шикізаттарды престелген, балқытылған таблеткалар түрінде және шыны пластмасса, концентраттар, түйіршіктер, бос ұнтақ күйінде де талдай алады. Құрылғының негізгі артықшылығы тікелей оптикалық позициялау жүйесінің қайталанымдылығы $0,0001^\circ$ бұрышты DOPS2 гониометр бекітілген. Zetium рентгендік түтігі әр түрлі қуатты етіп жабдықтауға болады. 50 және 75 мкм жұқа, күшейтілген бериллий терезесі және түтік терезесінің үлгі бетіне жақын орналасуы (7,5 мм) жарық элементтерін анықтаудың максималды сезімталдығын қамтамасыз етеді. SST-mAX сериялы рентген түтіктері әлемде бірегей. Түтіктің CHI-BLUE жабыны толық тығыздықты, сәулелерге, агрессивті ортаға төзімділікті және тиісінше түтіктің қызмет ету мерзімін одан да ұзақ етеді. Құрылғының негізгі көрсеткіштері: F-дан Am дейінгі диапазонда элементтерді анықтайды,

анод материалы Rh/Cr, түтік кернеуі – 4.0 кВт; 2θ бұрыш диапазоны – 0.0001° , сканерлеу қадамы - 10° 2θ сек (Taylor et al., 2016).

Цемент клинкерінің теориялық немесе әлеуетті құрамын бағалауға мүмкіндік беретін шикізат шихта құрамын есептеу «Шихта» бағдарламасында жүзеге асырылады. Дербес компьютерде есептелетін бағдарлама В.Г. Шухов атындағы Белгород мемлекеттік технологиялар университетінің «Цемент және композициялыө материалдар» кафедрасында құрастырылған. Бұл бағдарлама клинкердің химиялық модульдермен (глиноземді (р), силикатты (п) және әктің қанығу коэффициенті (КК)) бірге зерттеулер мен өнеркәсіптік қолданбаларда шикізат қоспасын таңдау үшін жиі қолданылады. Есептеулер шикізаттың тепе-теңдік жағдайында клинкер қосылыстарын түзу үшін толық реакциясын болжайды және қоспалардың ықтимал әсерін ескермейді. Дегенмен, клинкер құрамы үшін тек шамамен мәндерді береді, ал өнеркәсіптік клинкер теориялық болжамдардан шамалы ауытқуларды көрсетеді. Сонымен қатар, клинкер фазасының тұрақтылығына әсер етуіне байланысты қоспалардың қатысуымен ауытқулар одан әрі артуы мүмкін, бұл өз кезегінде цементтің соңғы қасиеттеріне әсер етеді. Температураның, пеш атмосферасының құрамының өзгеруі, кейбір элементтердің болуы және салқындату кезінде тепе-теңдік жағдайларының болмауы клинкер фазаларының дамуына әсер етуі мүмкін. Есептеулерін пайдаланып бағаланған фазалық құрамның дәлдігін төмендетеді. Сонымен қатар, балама шикізат немесе отын құрамындағы қосымша элементтер клинкерлеу процесіне әсер етеді. Бұл компоненттердің табиғаты мен мөлшері клинкер фазаларының морфологиясы мен үлесі, қосымша фазалардың түзілуі, оңтайлы клинкерлеу температурасы, пеште болу уақыты, балкытылған фазаның тұтқырлығы, салқындату түрлендірулері, негізгі фазалардың полиморфизмі және клинкердің реактивтілігі сияқты әртүрлі аспектілерде айтарлықтай өзгерістерге әкелуі мүмкін. Бұл сценарийде шикізат шихта құрамын есептеу осы айнымалылардың барлығын есепке алу және қолданылатын балама материалдардың ауқымын кеңейту үшін балама құрал болып табылады (Pereskok, et al., 2010).

Бос байланыспаған СаО мөлшерін анықтау. Күйдіріліп алынған клинкер сапасын анықтаудың бірегей әдістеріне этилглицерат әдісі (GOST 5382-2019) жатады. Мұнда клинкер түзуілу процесінің толық аяқталуы мен оның құрамындағы негізгі минералдардың түзілуі нақтыланады. Әдіс этиленгликоль ($C_2H_6O_2$) спирт ерітіндісінде бос СаО ерітуге, алынған $Ca(OH)_2$ ерітіндісін индикатор арқылы фенолфталеиннің қатысуымен стандартты тұз қышқылы HCl ерітіндісімен титрлеуге арналған. СаО байланысқан түрлері силикаттар мен алюминаттармен аналитикалық жағдайларда ерімейді. Талдауды жүргізу үшін этиленгликоль, тұз қышқылының ерітіндісі $HCl=0,1$ моль/дм³, фенолфталеин, спирт ерітіндісі, дистилденген су (H_2O) және сүзгілеуші қағаз, $\pm 0,0002$ г дәлдіктегі аналитикалық таразы, V=250 мл көлемді конустық колба, V= 25 немесе 50 мл көлемде бюретка, градуацияланған цилиндр, жылытқыш плита және суға жалғанған мұздатқыш колба, шыны араластырғыш таяқша қажет. Талдау жүргізу кезінде біріншіден клинкерді өлшемі №008 мм (80 мкм) болатын електен өткенше ұнтақтайды және

електен өткізеді. Сосын клинкерді аналитикалық таразыда 0,0002 г дәлдікпен 0,2–0,5 г етіп өлшеп алады. Клинкерді құрғақ конус тәрізді колбаға салып, оған көлемі 50 мл этиленгликоль ерітіндісін құяды. Колбаны мұздатқышқа қосып, төменгі бөлігінде жылытқыш платада 60–80 °С температураға дейін қыздырып, араластырады. Жалпы қыздыру уақыты 20–30 минут жеткілікті. Ерітіндіні бөлме температурасында салқындатып, оған 2–3 тамшы фенолфталеин индикаторын тамызады. Сосын алынған ерітіндінің қызғылт түсі жойылғанша тұз қышқылымен (HCl) титрлейді, титрлеу кезінде колбаны шайқап тұруды қажет етеді. Нәтижесінде титрлеуге жұмсалған қышқыл көлемін жазып, төмендегі келтірілген формуламен есептеу жүргізіледі. Осылайша клинкер құрамындағы байланыспаған бос СаО мөлшері $\text{CaO}_{\text{бос}} = V \cdot C \cdot 0,028 \cdot 100 / m$ теңдеуімен анықталады (Makarova, et al., 2011).

Нәтижелер және талқылаулар. Ең алдымен портландцемент клинкерін алу үшін қолданылатын шикізаттардың химиялық құрамын анықтау рентгендік флуоресценциялық спектрометр (XRF) әдісі арқылы ЖШС «Стандарт Цемент» зауытында орындалды. Шикізаттардың химиялық құрамы 1 кестеде келтірілген.

Кесте 1 — Шикізаттардың химиялық құрамы.

Үлгі атауы	Шикізаттардың химиялық құрамы, %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	ККЖ	басқа
Эктас	2,38	0,5	0,2	52,25	0,37	0,04	0,03	0,15	41,75	2,33
Лесс	53,2	9,37	4,14	12,5	2,22	0,23	1,21	2,07	14,67	0,39
Темір рудасы	11,04	1,86	61,37	4,5	4,56	0,99	0,08	0,54	14,81	0,25
Қорғасын қожын өндеуден қалған қалдықтары	23,75	5,28	36,80	16,26	3,25	3,09	2,05	1,11	0,29	8,12

*ККЖ – күйдіру кезіндегі жоғалу

Талдау нәтижесінде, эктас құрамы негізінен 52 % астам кальций оксидінен және 41,75 % күйдіру кезіндегі жоғалудан, ал сазды компонент лесс 53 % астам кремний оксидінен, 9,37 % алюминий оксидінен және 14,67 % күйдіру кезіндегі жоғалудан тұратындығы анықталды. Арнайы реттеуші қоспаларға жататын темір рудасы 61,37 % темір оксидінен, 11,04 % кремний оксидінен және 14,81 % күйдіру кезіндегі жоғалудан тұратындығы анықталды. Ресурс үнемдеу мақсатында пайдаланылатын қорғасын қожын өндеуден қалған қалдық құрамы 36,80 % темір оксидінен, 23,75 % кремний оксидінен және 16,26 % кальций оксидінен тұратындығы анықталды. Қалдық құрамында 0,29 % күйдіру кезіндегі жоғалу және 8,12 % қосалқы металл оксидтерінің кездесетіндігі анықталды. Басым бөлігі шамамен 3 % мырыш оксиді, 2 % барий оксиді, 0,42 % мыс оксиді кездесетіндігі дәлелденген (Rakhimov, et al., 2025).

Жоғарыда көрсетілген шикізаттардың негізінде «Шихта» бағдарламасының көмегімен клинкер алу үшін жарамды үш компонентті шикізат шихта құрамына есептеу жүргізілді:

1) Әктас + лесс + қорғасын қож қалдығы;

2) Әктас + лесс + темір рудасы.

Есептеу нәтижелері мен ЖШС «Стандарт Цемент» өндірістік зертханасында жүргізілген талдау нәтижелері 2 және 3 кестелерде көрсетілген.

Кесте 2 — Үш компонентті шикізат қоспаларын және шикізаттың меншікті шығынын есептеу нәтижелері

Қос-па №	Шикізат құрамы, %				Меншікті шикізат шығыны, т/т клинкер				ҚК	Модуль		Шикізат шихтасының химиялық құрамы, сал. %							
	әк-тас	Лесс	Қорғасын қож қалдығы	Темір рудасы	әк-тас	Лесс	Қорғасын қож қалдығы	Темір рудасы		n	p	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	ккж	бас-қа
1	72,11	18,36	9,53	-	0,721	0,184	0,095	-	0,93	2,1	0,65	13,74	2,58	3,96	41,40	0,98	0,26	33,67	3,42
2	72,71	18,73	8,57	-	0,727	0,187	0,086	-	0,94	2,2	0,70	13,72	2,56	3,68	41,62	0,95	0,24	33,88	3,35
3	73,27	19,05	7,68	-	0,733	0,190	0,077	-	0,95	2,3	0,75	13,69	2,55	3,41	41,81	0,93	0,23	34,08	3,30
4	73,52	21,54	-	4,94	0,735	0,215	-	0,05	0,93	2,1	0,61	13,75	2,48	4,07	41,32	0,97	0,13	34,58	2,68
5	73,97	21,58	-	4,44	0,740	0,216	-	0,044	0,94	2,2	0,66	13,73	2,48	3,77	41,55	0,95	0,12	34,70	2,69
6	74,41	21,61	-	3,98	0,744	0,216	-	0,040	0,95	2,3	0,71	13,71	2,47	3,49	41,76	0,94	0,12	34,82	2,70

Кесте 3 — ЖШС «Стандарт Цемент» өндірістік зертханасында үш компонентті шикізат шихталарынан алынған клинкерлердің химиялық және минералогиялық құрамы

Қос-па №	Клинкердің химиялық құрамы, сал. %							ҚК	Модуль		Клинкердің минералогиялық құрамы, сал. %				бос СаО мөлшері
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	бас-қа		n	p	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
1	20,71	3,89	5,97	62,41	1,48	0,39	5,16	0,93	2,1	0,65	59,36	14,59	0,14	18,16	0,67
2	20,75	3,87	5,57	62,95	1,44	0,36	5,08	0,94	2,2	0,70	62,02	12,70	0,84	16,88	0,63
3	20,77	3,87	5,17	63,43	1,41	0,35	5,00	0,95	2,3	0,75	64,63	10,80	1,48	15,69	0,58
4	21,02	3,79	6,22	63,17	1,48	0,20	4,10	0,93	2,1	0,61	61,70	13,75	-0,54	18,92	0,33
5	21,03	3,80	5,77	63,64	1,46	0,18	4,12	0,94	2,2	0,66	64,17	11,91	0,24	17,54	0,32
6	21,04	3,79	5,35	64,07	1,44	0,18	4,14	0,95	2,3	0,71	66,59	10,07	0,95	16,27	0,31

«Әктас + лесс + қорғасын қож қалдығы» қосылған шикізат шихтасында ҚК мөлшерін 0,93-тен 0,95-ке арттырған кезде силикатты және глиноземді модульдердің жоғарлауы тіркелді. Шикізат құрамында ҚК мөлшерінің артуымен әктас үлесі 72-73 %, лесс 18,3-19,05 % жоғарлады, керісінше қорғасын қож қалдығының үлесі 9,53 %-дан 7,68 %-ға дейін төмендеді. Шихтаның химиялық құрамы айтарлықтай тұрақты: SiO₂ ≈ 13,7%, CaO ≈ 41,5 %, ККЖ ≈ 33,7-34 % көрсетті.

«Әктас + лесс + темір рудасы» қосылған шикізат шихтасында ҚК мөлшерін 0,93-тен 0,95-ке арттырған кезде силикатты және глиноземді модульдердің n = 2.1–2.3, p = 0.61–0.71 жоғарлауы тіркелді. Шикізат құрамында ҚК мөлшерінің артуымен әктас үлесі 73,5-74,4 %, лесс 21,5-21,6 % жоғарлады, керісінше темір рудасының үлесі 4,94 %-дан 3,98 %-ға дейін кеміді. Шихтаның химиялық құрамы: SiO₂ ≈ 13,7%, CaO ≈ 41,5 %, ККЖ ≈ 34,5-34,8 % айтарлықтай тұрақты.

«Әктас + лесс + темір рудасы» тұратын дәстүрлі құрамға қарағанда «Әктас + лесс + қорғасын қож қалдығы» шикізат шихтасында қорғасын қожы қалдығын

кәдеге жарату мөлшері шамамен 3,7-4,6 % жоғары және әктас мөлшері 1-1,5 % төмен, бұл ресурс үнемдеуде тиімді шара болып саналады. Сондай-ақ, әктас мөлшерінің азаюы атмосфераға шығарылатын CO_2 газының мөлшерінің төмендеуіне алып келеді.

«Әктас + лесс + қорғасын қож қалдығы» шихта құрамында ҚК мөлшерін 0,93-тен 0,95-ке жоғарлауы кезінде C_3S мөлшері 59,36 %-дан 64,63 %-ға дейін артады және C_2S мөлшері 14,59 %-дан 10,8 %-ға дейін азаяды. Шихта қоспа құрамының сульфатқа төзімділігі (C_3A мөлшері) 0,14-1,48 % төмен деңгейді көрсетті. Сұйық фазаның мөлшері $\text{C}_3\text{A} + \text{C}_4\text{AF} = 17,2 - 18,3$ % екендігі анықталды.

«Әктас + лесс + темір рудасы» шихта құрамында ҚК мөлшерін 0,93-тен 0,95-ке жоғарлауы кезінде C_3S мөлшері 61,7 %-дан 66,59 %-ға дейін артады және C_2S мөлшері 13,75 %-дан 10,07 %-ға дейін кемейді. Шихта қоспа құрамының сульфатқа төзімділігі (C_3A мөлшері) теріс -0,54 %-дан 0,95 % арту деңгейін көрсетті. Сұйық фазаның мөлшері $\text{C}_3\text{A} + \text{C}_4\text{AF} = 17,3 - 18,9$ % екендігі анықталды.

Екі құрамнан дайындалған клинкердің химиялық құрамы тұрақты: $\text{SiO}_2 \approx 20,7 - 21,04\%$, $\text{CaO} \approx 62,4 - 64,1\%$ және МЕСТ бойынша $\text{MgO} \approx 5$ %-дан төмен екендігі дәлелденді.

№2 және 3 кестелерде көрсетілген есептеу нәтижелеріне сүйеніп №1, 2, 3, 5 және 6 клинкерлерде үш кальцийлі алюминат минералының аз болуына байланысты (0,14-1,48 %) арнайы сульфатқа төзімді цементтер өндіруге жарамды болып табылады. МЕСТ 22264-2013 (GOST 22264-2013) бойынша цемент түріне байланысты C_3A мөлшері 3,5 %-дан, 5 % және 7 %-дан аспауы керек, клинкердегі Al_2O_3 мөлшері 5 %-дан аспауы керек, ал C_3A және C_4AF жалпы мөлшері 22%-дан аспауы керек. Аталған талаптар №1, 2, 3, 5 және 6 клинкерлердің барлығында толық сәйкес келеді.

Сонымен қатар, №3 кестеде ЖШС «Стандарт Цемент» өндірістік зертханасында үш компонентті шикізат қоспалардан дайындалған шихталардан алынған клинкерлердің сапасын талдау үшін клинкер құрамындағы бос CaO мөлшері анықталды.

«Әктас + лесс + қорғасын қож қалдығы» қосылған шикізат шихтасынан алынған клинкер құрамында байланыспаған бос кальций оксидінің мөлшері 0,58-0,67 % аралығында болды. Ал «Әктас + лесс + темір рудасы» қосылған шикізат шихтасынан алынған клинкер құрамында байланыспаған бос кальций оксидінің мөлшері 0,31-0,33 % болды. Салыстыра келе дәстүрлі шикізат құрамының бірдей күйдіру температурасында сапалы күйгендігі анықталды. Ал энергия және ресурс үнемдеу мақсатында дайындалған «Әктас + лесс + қорғасын қож қалдығынан» алынған клинкердің сапалы және құрамындағы бос CaO мөлшері 2 % жоғары емес екендігі дәлелденді.

«Әктас + лесс + қорғасын қож қалдығы» шикізат шихтасындағы қорғасын қож қалдығы құрамында кездесетін метал оксидердің ($\text{ZnO} - 3$ %, $\text{CuO} - 0,42$ %) массалық үлесі шамамен 0,24-0,3 % құрайды (Zhanikulov, et al., 2023). Бұл оксидтердің мөлшері күйдіру процесін минералдандыруға, күйдіру процесін жетелдетуге, клинкердің сұйық фазасының қасиеттерін жақсартуға және клинкер

фазаларының микроқұрылымын өзгертуге толық жеткілікті. Бұл өз кезегінде бос СаО мөлшерінің мәліметтеріне сүйеніп клинкер минералдарының байланысу процесі белгіленген 1450 °C температурадан 50 °C төмен температурада толық аяқталғанын дәлелдейді.

Қорытынды. Клинкер алуда шикізат шихта құрамын есептеу және өндірістік талдау нәтижесінде келесідей қорытынды жасалды:

1. Үш компонентті шикізат шихта құрамын есептеу нәтижесінде дәстүрлі «Әктас + лесс + темір рудасы» құрамға қарағанда «Әктас + лесс + қорғасын қож қалдығы» тұратын шихта құрамында қож қалдықтарды кәдеге жарату 3,7-4,6 % жоғары, ал табиғи ресурстарды үнемдеу 4-4,2 % құрады.

2. Үш компонентті дәстүрлі «Әктас + лесс + темір рудасы» шикізат шихта құрамына 1450 °C температурада күйдіріп, «Әктас + лесс + қорғасын қож қалдығы» тұратын шихта құрамын 50 °C төмен температурада күйдіру арқылы сапалы клинкер алу және энергия үнемдеудің оңтайлылығы анықталды.

3. Үш компонентті дәстүрлі «Әктас + лесс + темір рудасы» шикізат шихта құрамынан алынған клинкерде ҚК=0,93-тен 0,95-ке жоғарлауы C_3S мөлшерін 61,7-66,59 % дейін арттырды, тиісінше C_2S мөлшерін 13,75 %-дан 10,07 %-ға дейін төмендетті. C_3A мөлшері теріс -0,54 %-дан 0,95 % артты. Сұйық фазаның саны $C_3A + C_4AF = 17,3-18,9$ % болды. Ал «Әктас + лесс + қорғасын қож қалдығы» шихта құрамынан алынған клинкерде ҚК=0,93-тен 0,95-ке жоғарлауы C_3S мөлшерін 59,36-64,63 % дейін жетті, ал C_2S мөлшері 14,59 %-дан 10,8 %-ға дейін төмендеді. C_3A мөлшері 0,14-1,48 % көрсетті. Сұйық фазаның саны $C_3A + C_4AF = 17,2 - 18,3$ % екендігі анықталды. Алынған клинкерлердің құрамындағы байланыспаған бос СаО мөлшері $CaO_{\text{бос}} = 0,31-0,67$ % аралығында екендігі анықталды, бұл МЕСТ талаптары бойынша 2 % жоғары емес екендігі дәлелденді.

References

- IEA. Global cement production in the Net Zero Scenario, 2010-2030. (2024) On this link. <https://www.iea.org/reports/cement> (in English).
- Hanein T., Glasser F.P., Bannerman M.N. (2020) Thermodynamic data for cement clinkering. Cement and Concrete Research. — No. 132. — 106043 p. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106043> (in English).
- Scrivener K., Ben Haha M., Juilland P., Levy C. (2022). Research needs for cementitious building materials with focus on Europe. RILEM technical Letters. – No. 7. – P. 220-252. <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2022.165> (in English).
- Costa A.R.D., Coppe M.V., Bielefeldt W.V., Bernal S.A., Black L., Kirchheim A.P., Goncalves J.P. (2023) Thermodynamic modeling of cement clinkering process as a tool for optimising the proportioning of raw meals containing alternative materials. Scientific reports. — No. 13. — 17589 p. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44078-7> (in English).
- Svensen J.L., Leal da Silva W.R., Zhang Zh., Horsholt S., Jorgensen J.B. (2025) Dynamical simulation model of the pyro-process in cement clinker production. Electrical Engineering and System Science. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.02886> (in English).
- Ige O.E., Kabeya M. (2025) Multi-Objective Optimization of Raw Mix Design and Alternative Fuel Blending for Sustainable Cement Production. Sustainability. — No. 17. — 7438 p. <https://doi.org/10.3390/su17167438> (in English).
- Goncalves J.P., Han T., Sant G., Neithalath N., Huang J., Kumar A. (2024). Toward smart and sustainable cement manufacturing process Analysis and optimization of cement clinker quality using thermodynamic

and data-informed approaches. Cement and Concrete Composites. — No.147. — 105436 p. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2024.105436> (in English).

Ponnusamy B., Hussin H., Mokhtar A.A., Muhammad M. (2022). Optimization of raw mix design of clinker production: a case study in cement industry. Platform – A journal of Engineering. — No.6(3). — P. 38-45. <https://doi.org/10.61762/pajevol6iss3art20025> (in English).

Pan L., Guo Y., Mu B., Shi W., Wei X. (2024). Operation optimization of cement clinker production line based on neural network and genetic algorithm. Energy. — No. 303. — 132016 p. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132016> (in English).

Taylor H.F.W., Jennings H.M. (2016) Modern developments in cement chemistry. Cement and Concrete Research. — 89. — P. 60-74. (in English).

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

GOST 22264-2013 (2014) Tsementy sul'fatostoykiye. Tekhnicheskiye usloviya. [Sulfate-resistant cements. Technical specifications.]. Standard Inform Publishing House: Moscow, Russia. — 12 p. (in Russian)

Zhanikulov N., Sapargaliyeva B., Agabekova A., Alfereva Y., Baidibekova A., Syrlybekkyzy S., Nurshakhanova L., Nurbayeva F., Sabyrbaeva G., Zhatkanbayev Y., Kozlov P., Izbassar A., Kolesnikova O. (2023). Studies of Utilization of Technogenic Raw Materials in the Synthesis of Cement Clinker from It and Further Production of Portland Cement. Journal of Composites Science. — No.7. — 226 p. <https://doi.org/10.3390/jcs7060226> (in English).

Rakhimov A., Zhanikulov N., Taimasov B., Potapova E., Sviderskiy A. (2025). Investigation of lead slag processing waste as raw material for cement industry. Academic journal of physical and chemical sciences. — No.4. — P. 227-240. <https://doi.org/10.32014/2025.2518-1483.396> (in Kazakh).

Cement production in Kazakhstan reached 6.9 million tons in the first half of 2026 [Vypusk tsementa v Kazakhstane za pervoye polugodiye 2026 goda dostig 6,9 mln tonn]. Cement and Its Applications. On this link. <https://jcement.ru/content/news/vypusk-tsementa-v-kazakhstane-za-pervoe-polugodie-2026-goda-dostig-6-9-mln-tonn/> 03.08.2026. (in Russian).

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

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

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

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

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

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

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

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

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

www.nauka-nanrk.kz

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

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

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

Signed for print: September 23, 2026

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