

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

**ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№1  
2026**

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

2026 • 1



**ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND  
CHEMICAL SCIENCES**

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

## EDITOR-IN-CHIEF

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

## DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

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

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

## EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES.

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

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

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

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

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

## БАС РЕДАКТОР

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

## БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЛАРЫ:

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

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

## РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

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

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

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

Тақырыптық бағыты: *физика, химия.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

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

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

## ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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

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

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

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

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

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

Периодичность: 4 раза в год.

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

CONTENTS

PHYSICS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## CHEMISTRY

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

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

## МАЗМҰНЫ

### ФИЗИКА

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

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

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

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

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

### ХИМИЯ

**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., Айтүреев М., Даулетияров М.**  
Ақ портландцемент клинкерiн алу үшiн шикiзат шихта құрамын есептеу.....251

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

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

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

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

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

## ФИЗИКА

<b>Аймаганбетова З.К., Кулшымбаев Е.А., Жантурина Н.Н., Бекетова Г.К.</b> Расчет по первому принципу электронных свойств двойного галогенидного перовскита Cs <sub>2</sub> Ag <sub>0.2</sub> Na <sub>0.4</sub> In <sub>0.6</sub> Ti <sub>0.4</sub> Cl <sub>6</sub> на основе программы Quantum Espresso.....	14
<b>Амангелдинова С., Жүнісхан С., Калжигитов Н., Курмангалиева В.</b> Исследование кластерной структуры зеркальных ядер <sup>5</sup> He и <sup>5</sup> Li в двухкластерном приближении.....	35
<b>Чокин К., Отунчи Е., 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 Н.Т., Орынбаев С.А., Калмаханова М.С.</b> Полимерные мембраны с активированным углем для эффективного удаления загрязняющих веществ вызывающих обеспокоенность.....	334
<b>Масенова А.Т., Жұмақанова А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Абильмагжанов А.З.</b> Оптимизация процесса получения иерархического цеолита ZSM-5 паровой щелочной модификацией.....	350
<b>Мутушев А.Ж., Нуралы А.М., Санат А.С., Шаукарова М.А., Есимсиитова З.Б.</b> Влияние светопреобразующих плёнок на накопление биоактивных соединений и качество плодов.....	366
<b>Нефедов А.Н., Тайекенова А.Т.</b> Современное состояние применения органических ингибиторов коррозии в нефтепереработке.....	379
<b>Омаров Б.Т., Алтыбаев Ж.М., Серикбаева Б.С.</b> Получение биогумуса путем вермикомпостирования органических отходов и исследование его агроэкологической эффективности.....	399
<b>Рахман Д.М., Қаппасұлы Ә., Махаева Д.Н., Казыбаева Д.С., Ирмухаметова Г.С.</b> Разработка и исследование мукоадгезивных гидрогелей на основе комплексов геллан–цистеин.....	414
<b>Сабыржанова А.Е., Болаткызы Н., Берганаева Г.Е., Дюсебаева М.А.</b> Исследование аминокислот и жирных кислот в составе надземной части <i>Plantago Major</i> .....	428
<b>Сатаева С., Ахметова Ф., Уразова А., Айтуганова С., Ерниязова К.</b> Влияние концентрации ПЭПА на физические, механические и эксплуатационные свойства эпоксидных клеев ЭД-20.....	439
<b>Заманбек А.Ж., Кошкарбаева Ш.Т., Сатаев М.С.</b> Методы получения наночастиц серебра и антибактериальные свойства.....	450
<b>Жоргарова А.А., Салькева Л.К., Минаева Е.В., Ибраев М.К., Фазылов С.Д.</b> Новые возможности синтеза и фосфорилирования фосфонуксусного эфира.....	462

©Almassov N.Zh.\*, Zhumagaliyeva A.N., Duisenbekov S.E.,  
Zhakiyev N.K. 2026.

\*National Laboratory Astana, Astana, Kazakhstan.

\*E-mail: [nurlan.almassov@nu.edu.kz](mailto:nurlan.almassov@nu.edu.kz)

## DESIGN AND OPTIMIZATION OF HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEMS FOR HYDROGEN PRODUCTION IN KAZAKHSTAN

**Almassov Nurlan** — PhD, National Laboratory Astana, Astana, Kazakhstan,

E-mail: [nurlan.almassov@nu.edu.kz](mailto:nurlan.almassov@nu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-2183-3389>;

**Zhumagaliyeva Assem** — PhD, National Laboratory Astana, Astana, Kazakhstan,

E-mail: [assem.zhumagaliyeva@nu.edu.kz](mailto:assem.zhumagaliyeva@nu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-6686-2709>;

**Duisenbekov Sagydat** — PhD Student, National Laboratory Astana, Astana, Kazakhstan,

E-mail: [sagydat.duisenbekov@nu.edu.kz](mailto:sagydat.duisenbekov@nu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0009-9142-9980>;

**Zhakiyev Nurkhat** — PhD, Astana IT University, Astana, Kazakhstan,

E-mail: [Nurkhat.Zhakiyev@astanait.edu.kz](mailto:Nurkhat.Zhakiyev@astanait.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-4904-2047>.

**Abstract.** Concerns about energy security, national decarbonization goals, and the explosive growth of the global hydrogen economy are the main forces behind Kazakhstan's shift to a low-carbon energy system. In this regard, water electrolysis combined with hybrid renewable energy systems (HRES) offers a viable route to environmentally friendly hydrogen generation, especially in areas like Astana that have a wealth of solar and wind energy. This paper offers a thorough and critical evaluation of HRES design and optimization techniques for hydrogen production under technological, economic, and environmental conditions unique to Kazakhstan. Systems modeled using high-resolution meteorological data for Astana are highlighted, allowing for a realistic assessment of the fluctuation of renewable resources and system performance. The paper focuses on wind-solar-battery-electrolyzer configurations as the most practical designs for central Kazakhstan, synthesizing results from current techno-economic evaluations, optimization frameworks, and sensitivity studies. Important optimization goals are methodically investigated, such as minimizing net present cost and leveled cost of hydrogen, as well as reliability and environmental performance measures. The impact of resource unpredictability, component cost assumptions, and macroeconomic instability on system viability is specifically examined. This review emphasizes key design trends, cost trajectories, and strategic trade-offs pertinent to Kazakhstan's

deployment of hydrogen-oriented HRES by critically analyzing the body of current literature in a localized context. For academics, system designers, and politicians, the findings offer insightful information that facilitates well-informed decision-making and helps build a strong national framework for the production of green hydrogen.

**Keywords:** hybrid renewable energy systems, hydrogen production, electrolyzer, optimization, Astana weather data, Kazakhstan, techno-economic analysis, green hydrogen

**Financing.** This research was conducted as part of the targeted funding program for the project IRN AP26199973, titled “ Design and optimization of a hybrid energy system for hydrogen production using an electrolyzer based on weather data in the city of Astana”.

**For citations:** Almassov N.Zh., Zhumagaliyeva A.N., Duisenbekov S.E., Zhakiyev N.K. Design and Optimization of Hybrid Renewable Energy Systems for Hydrogen Production in Kazakhstan. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences. 2026. No.1. Pp. 236–000. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.417>

©Алмассов Н.Ж. \*, Жумагалиева А.Н., Дүйсенбеков С.Е.,  
Жакиев Н.К., 2026.

Ұлттық зертхана Астана, Астана, Қазақстан.

\*E-mail: [nurlan.almassov@nu.edu.kz](mailto:nurlan.almassov@nu.edu.kz)

## ҚАЗАҚСТАНДА СУТЕГІ ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІК ЖАҢАРТЫЛАТЫН ЭНЕРГИЯ ЖҮЙЕЛЕРІН ЖОБАЛАУ ЖӘНЕ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

**Almassov Nurlan** — PhD, Ұлттық зертхана Астана, Астана, Қазақстан,  
E-mail: [nurlan.almassov@nu.edu.kz](mailto:nurlan.almassov@nu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-2183-3389>;

**Zhumagaliyeva Assem** — PhD, Ұлттық зертхана Астана, Астана, Қазақстан,  
E-mail: [assem.zhumagaliyeva@nu.edu.kz](mailto:assem.zhumagaliyeva@nu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-6686-2709>;

**Duisenbekov Sagydat** — PhD Student, Ұлттық зертхана Астана, Астана, Қазақстан,  
E-mail: [sagydat.duisenbekov@nu.edu.kz](mailto:sagydat.duisenbekov@nu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0009-9142-9980>;

**Zhakiyev Nurkhat** — PhD, Астана ІТ университеті, Астана, Қазақстан,  
E-mail: [Nurkhat.Zhakiyev@astanait.edu.kz](mailto:Nurkhat.Zhakiyev@astanait.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-4904-2047>.

**Аннотация.** Энергетикалық қауіпсіздік мәселелері, ұлттық декарбонизация мақсаттары және жаһандық сутегі экономикасының жылдам өсуі Қазақстанның төмен көміртекті энергетикалық жүйеге көшуінің негізгі қозғаушы күші болып табылады. Осыған байланысты, су электролизі гибриді жаңартылатын энергия көздерімен (ГЖЭК) біріктіріліп, әсіресе күн және жел энергиясы ресурстары мол Астана сияқты аймақтарда таза сутегі өндірісінің тиімді жолын ұсынады. Бұл мақалада Қазақстанға тән технологиялық, экономикалық және экологиялық жағдайларда сутегі өндірісі үшін ГЖЭК жобалау және оңтайландыру әдістерінің кешенді және сыни бағасы берілген. Астана үшін жоғары дәлдіктегі

метеорологиялық деректерді пайдалана отырып модельденген жүйелерге ерекше назар аударылады, бұл жаңартылатын ресурстардың өзгергіштігі мен жүйенің жұмысын шынайы бағалауға мүмкіндік береді. Мақалада Орталық Қазақстан үшін ең практикалық нұсқалар ретінде жел-күн-аккумулятор-электролизер конфигурацияларына назар аударылады, жүргізіліп жатқан техникалық-экономикалық бағалаулардың, оңтайландыру модельдерінің және сезімталдық зерттеулерінің нәтижелері қорытындыланады. Бұл мақалада таза ағымдағы құнды азайту және сутегінің теңестірілген құнын, сондай-ақ сенімділік пен экологиялық тиімділік көрсеткіштерін азайту сияқты маңызды оңтайландыру мақсаттары әдістемелік тұрғыдан қарастырылады. Бұл шолуда ресурстардың болжанбауының, компоненттердің құны туралы болжамдардың және макроэкономикалық тұрақсыздықтың жүйенің өміршеңдігіне әсері мұқият қарастырылады. Жергілікті контекстегі қолданыстағы әдебиеттерді сыни талдау арқылы Қазақстанда сутегімен жаңартылатын энергияны енгізуге қатысты негізгі жобалау үрдістеріне, шығындар динамикасына және стратегиялық келісімдерге ерекше назар аударылады. Ғалымдар, жүйе әзірлеушілері және саясаткерлер үшін зерттеу нәтижелері ақпараттандырылған шешім қабылдауды қолдау және таза сутегі өндірісі үшін берік ұлттық негіз құруға көмектесетін құнды түсініктер береді.

**Түйін сөздер:** гибридік жаңартылатын энергия жүйелері, сутекті өндіру, электролизер, оңтайландыру, Астана ауа райы деректері, Қазақстан, техникалық-экономикалық талдау, жасыл сутегі

©Алмассов Н.Ж. \*, Жумагалиева А.Н., Дуйсенбеков С.Е.,  
Жакиев Н.К., 2026.

Национальная лаборатория Астана, Астана, Казахстан.

\*E-mail: nurlan.almassov@nu.edu.kz

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ГИБРИДНЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА В КАЗАХСТАНЕ

**Almassov Nurlan** — PhD, Национальная лаборатория Астана, Астана, Казахстан,

E-mail: nurlan.almassov@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2183-3389>;

**Zhumagaliyeva Assem** — PhD, Национальная лаборатория Астана, Астана, Казахстан,

E-mail: assem.zhumagaliyeva@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6686-2709>;

**Duisenbekov Sagydat** — PhD Student, Национальная лаборатория Астана, Астана, Казахстан,

E-mail: sagydat.duisenbekov@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0009-9142-9980>;

**Zhakiyev Nurkhat** — PhD, Астана IT университет, Астана, Казахстан,

E-mail: Nurkhat.Zhakiyev@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-4904-2047>.

**Аннотация.** Обеспокоенность вопросами энергетической безопасности, национальные цели декарбонизации и стремительный рост мировой водородной экономики выступают основными движущими силами перехода Казахстана к



низкоуглеродной энергетической системе. В этом контексте электролиз воды в сочетании с гибридными возобновляемыми источниками энергии (ГВИЭ) представляет собой перспективный путь к экологически чистому производству водорода, особенно в таких регионах, как Астана, обладающих значительным потенциалом солнечной и ветровой энергии. В статье представлена всесторонняя критическая оценка методов проектирования и оптимизации гибридных систем для производства водорода с учетом технологических, экономических и экологических условий, характерных для Казахстана. Особое внимание уделяется системам, смоделированным с использованием высокоточных метеорологических данных по Астане, что позволяет реалистично оценить изменчивость возобновляемых ресурсов и эффективность системы. Основное внимание сосредоточено на конфигурациях типа «ветер–солнечная энергия–аккумулятор–электролизер» как на наиболее практичных решениях для центрального Казахстана; при этом обобщаются результаты современных технико-экономических оценок, оптимизационных моделей и исследований чувствительности. В методическом аспекте рассматриваются ключевые цели оптимизации, включая минимизацию чистой приведенной стоимости и приведенной стоимости водорода, а также показатели надежности и экологической эффективности. В обзоре подробно анализируется влияние неопределенности ресурсной базы, допущений о стоимости компонентов и макроэкономической нестабильности на жизнеспособность системы. На основе критического анализа существующей литературы в локальном контексте выделяются основные тенденции проектирования, динамика затрат и стратегические компромиссы, имеющие значение для внедрения водородных технологий на основе возобновляемых источников энергии в Казахстане. Полученные результаты представляют ценность для ученых, разработчиков систем и лиц, принимающих решения, поскольку способствуют выработке обоснованных подходов к формированию надежной национальной базы производства экологически чистого водорода.

Ключевые слова: гибридные системы возобновляемой энергетики, производство водорода, электролизер, оптимизация, метеоданные Астаны, Казахстан, технико-экономический анализ, зеленый водород

**Кіріспе.** Жаңартылатын энергия көздері мен энергия сақтау технологияларындағы жедел жетістіктер, энергия қауіпсіздігіне деген қажеттілік және климаттың өзгеруін азайту жаһандық энергетика секторын айтарлықтай қайта құруға түрткі болуда. Бейімделгіштігі, жоғары энергия тығыздығы және ауыр өнеркәсіп, қалааралық көлік және маусымдық энергия сақтау сияқты азайту қиын секторларды көміртегінен тазарту әлеуетіне байланысты сутегі осы өтпелі кезеңде негізгі энергия тасымалдаушысы ретінде қайта пайда болды (Franco and Giovannini, 2023). «Жасыл» сутегі деп аталатын ол 100% жаңартылатын электр энергиясын пайдалана отырып, су электролизі арқылы өндірілген кезде нөлге жақын өмірлік цикл шығарындыларына жол ашады (Shin et al., 2023).

Орталық Азиядағы ең ірі экономика болып табылатын Қазақстан дәстүрлі

және жаңартылатын энергия ресурстарының молдығына қарамастан, әлі де негізінен қазба отындарына, әсіресе солтүстік және орталық аймақтарында электр энергиясын өндірудің көп бөлігін құрайтын көмірге тәуелді (Karatajev et al., 2016). Елдің қазба отынын жағудан туындайтын CO<sub>2</sub> шығарындылары 2023 жылы шамамен 237 миллион тоннаға жетті, бұл ұлттық саясатқа да, халықаралық климаттық мақсаттарға да сәйкес көміртегінсіздендіру міндеттемелерінің өзектілігін көрсетеді (IEA, 2023). Жаңартылатын энергия көздерінің қуаты соңғы кезде артқанымен, ол әлі де елдің энергетикалық қоспасының аз ғана бөлігін құрайды. Қазақстанның кең далалары мен тиімді жел сызығына байланысты, әсіресе Астана маңындағы орталық аймақта, жел энергиясы жаңартылатын ресурстар арасында ерекше техникалық перспективаларды көрсетеді (Mussagaliyeva et al., 2025).

Ресурстардың үзілісін азайту, сенімділікті арттыру және жалпы жүйе экономикасын арттыру мүмкіндігіне байланысты бірнеше жаңартылатын көздерді энергия сақтау және энергияны түрлендіру қондырғыларымен бірлесіп біріктіретін гибриді жаңартылатын энергия жүйелері (ГЖЭЖ) барған сайын танымал бола бастады (Jahan et al., 2025). Энергияны сутегіге түрлендіру ГЖЭЖ-ны электролизерлермен біріктіру, артық жаңартылатын электр энергиясын тасымалданатын, сақтауға болатын және бейімделетін энергия көзіне айналдыру арқылы мүмкін болады (Bhattacharyya et al., 2024). Қазақстан сияқты сенімді, бірақ болжау мүмкін емес жаңартылатын ресурстарды ішкі декарбонизациялау және экспорттау үшін жасыл сутегі өндіру үшін пайдалануға болатын жерлерде мұндай интеграцияланған жүйелер әсіресе орынды.

Жергілікті метеорологиялық, технологиялық және әлеуметтік-экономикалық жағдайларда сутегіге бағытталған ГЖЭЖ-ны жобалау және оңтайландыру бойынша кешенді зерттеу Қазақстанның айтарлықтай жаңартылатын әлеуетіне және жасыл сутегіге деген саяси қызығушылықтың артуына қарамастан әлі де жетіспейді. Бұрынғы зерттеулер микрожелілерге, жалпы жаңартылатын интеграцияға немесе тәуелсіз техникалық-экономикалық бағалауға бағытталған (Orakhai et al., 2024). Астананың жоғары ажыратымдылықтағы метеорологиялық деректері мен жергілікті шығындар параметрлерін пайдаланып модельденген жүйелерге баса назар аудара отырып, бұл зерттеу жасыл сутегі өндірісіне арналған ГЖЭЖ жобалау және оңтайландыру тәсілдерін синтездеу және сыни бағалау арқылы осы олқылықты жоюға тырысады.

Көмір, газ және мұнай сияқты қазба отындары Қазақстанның электр энергиясы нарығында басымдықты жалғастыруда, жаңартылатын энергия көздері жалпы электр энергиясын өндірудің тек 6%-ын ғана құрайды (Omırgaliyev et al., 2025). ГЖЭЖ ескірген жылу электр станциялары белгілеген қымбат, жоғары көміртекті стандартқа қарсы тұруы керек, олардың тиімділігі төмендеп, шығарындылары артады. Ірі көлемді жаңартылатын энергия көздерін интеграциялау электр беру шектеулерімен және генерациялау орындары мен жүктеме орталықтары арасындағы айтарлықтай алшақтықпен одан әрі күрделене түседі (Omırgaliyev et al., 2025). Осы жүйелік ерекшеліктерге байланысты ГЖЭЖ жобалары маусымдық

сұраныстың шектен шығуын, әсіресе қысқы жылыту жүктемелерін және электр желісінің әлсіздігін ескеруі керек. Қазба отындарын жағудан туындайтын Қазақстанның жалпы CO<sub>2</sub> шығарындылары 2023 жылы шамамен 237,3 миллион тоннаға жетті, бұл таза энергияға көшу қажеттілігін көрсетеді (IEA, 2023). ГЖЭЖ көмегімен жасыл сутегі өндірісінің экономикалық және экологиялық құндылық ұсынысын бағалаған кезде, бұл мұрагерлік параметр маңызды базалық деңгейді белгілейді.

Бұл мақаланың мақсаты - жасыл сутегі өндірісі үшін гибриді жаңартылатын энергия жүйелерін (ГЖЭЖ) жобалау және оңтайландыру тәсілдеріне кешенді шолу жасау, олардың Қазақстан жағдайларына қолданылуына ерекше назар аудару. Зерттеуде ГЖЭЖ конфигурациялары, оңтайландыру әдіснамалары, экономикалық параметрлер және Қазақстанға ұқсас континенттік климатта сутегі өндірісіне қатысты сезімталдық факторлары бойынша қолданыстағы әдебиеттер жүйелі түрде қарастырылады. Астана үшін жоғары ажыратымдылықтағы метеорологиялық деректерді пайдаланып модельденген жүйелерге ерекше назар аударылады, бұл жаңартылатын ресурстардың өзгеріштігін және жергілікті жағдайларда жүйенің жұмысын шынайы бағалауға мүмкіндік береді. Жаңартылатын энергияны бағалауды (Karatajev et al., 2016; Mussagaliyeva et al., 2025) немесе сутегі әлеуетін (Oprakhai et al., 2024) жеке қарастырған бұрынғы зерттеулерден айырмашылығы, бұл мақала бұрын әртүрлі болған зерттеу салаларын жаңартылатын ресурстарды бағалауды, электролизер технологияларын, көп мақсатты оңтайландыру әдіснамаларын және Қазақстанға тән экономикалық және климаттық параметрлерді байланыстыратын бірыңғай құрылымға біріктіреді. Мақалада халықаралық техникалық-экономикалық бағалаулардың, оңтайландыру модельдерінің және сезімталдық зерттеулерінің нәтижелері синтезделеді, оларды елдің жаңартылатын энергия әлеуеті, макроэкономикалық көрсеткіштері және энергетикалық жүйенің сипаттамалары туралы жарияланған деректерді қосу арқылы Қазақстан жағдайына бейімдейді. Қолданыстағы әдебиеттерді сыни талдау арқылы бұл шолу Қазақстанда сутегі негізіндегі жаңартылатын энергия жүйелерін енгізуге қатысты негізгі жобалау үрдістерін, шығындар динамикасын және стратегиялық ымыраларды анықтауға бағытталған, осылайша елде жасыл сутегі өндірісін дамыту бойынша жұмыс істейтін зерттеушілерге, жүйе әзірлеушілеріне және саясаткерлерге негізгі анықтамалық болып табылады.

**Әдебиетке шолу.** Қазақстанда жаңартылатын ресурстардың берік негізі бар. Астананың ұзақ мерзімді деректері жоғары қуаттылық факторларын қолдайтын күшті, тұрақты жел үлгілерін көрсетеді, ал жел әлеуеті әсіресе орталық және солтүстік дәліздерде үлкен. Маусымдық ауытқуларға қарамастан, күн фотоэлектрлік (ФЭ) әлеуеті жазғы және тәуліктік пайдалы өнімділікті қамтамасыз етеді. Ең бастысы, Орталық Қазақстанда жел және күн ресурстары уақытша өзара толықтыруды көрсетеді; жел өндірісі көбінесе қыста шыңына жетеді, бұл ФЭ өнімділігінің төмендеуін өтейді (Mussagaliyeva et al., 2025). Жел-күн будандастыруының негізгі негіздемелерінің бірі - осы өзара толықтыру. Бірақ температура  $-35^{\circ}\text{C}$ -тан  $+35^{\circ}\text{C}$ -тан жоғарыға дейін өзгертіндіктен, континенттік

орта компоненттердің өнімділігі мен тозу жылдамдығына әсер ететін ауыр жұмыс стрессерін тудырады, бұл мәселені нақты модельдеу қажет (Guddanti et al., 2024). Жергілікті жағдайларда ГЖЭЖ өнімділігін дәл модельдеу және оңтайландыру үшін Астананың типтік метеорологиялық жылы (ТМҮ) деректері, соның ішінде сағаттық жел жылдамдығы, күн сәулеленуі және температура өте маңызды.

Ұлттық стратегия сутекті экспортты әртарапандыру және терең декарбонизациялау құралы ретінде бекітеді. ГЖЭЖ көмегімен жүзеге асырылатын электролиз арқылы жасыл сутегін өндіру Қазақстанның мол жаңартылатын ресурстарын тасымалданатын және сақтауға болатын тауарға айналдыруға мүмкіндік береді. Бұл отандық өнеркәсіптік стратегияға да, жаһандық нарықтық үрдістерге де сәйкес келеді. Артық жаңартылатын өндірісті сіңіре алатын икемді жүктемені қосу арқылы электролизерді интеграциялау шектеуді азайтады және жүйелік экономиканы жақсартады (Bhattacharya et al., 2024). Нәтижесінде, Қазақстанның ГЖЭЖ оңтайландыруы энергия шығындарына бір ғана назар аударудан сутегі өндірісінің шығындарын, өмірлік цикл шығарындыларын кешенді бағалауға және экспорттық логистиканы қоса алғанда, үлкен сутегі құндылық тізбектеріне интеграциялауға ауысуы керек. Ұлттың жаһандық нарықтар үшін жасыл сутегі өндірісін арттыруға деген ұмтылысы ұсынылған *Nugasia One* бағдарламасы сияқты жобалармен көрсетілген, бұл ГЖЭЖ қолдауын оңтайландыруды маңызды зерттеу және әзірлеу басымдығына айналдырады (IRENA, 2025).

Қазақстанда жасыл сутегі өндіруге арналған ең көп таралған және техникалық тұрғыдан негізделген ГЖЭЖ дизайны - жел турбиналарының, күн фотоэлектрлік (ФФ) панельдерінің, батарея энергиясын сақтау жүйелерінің (BESS) және су электролизерлерінің үйлесімі. Астана сияқты орталық жерлерде жел мен күн энергиясының толықтырушы ресурстарының профилдері бұл құрылыстың негізгі қозғаушы күштері болып табылады. Күн фотоэлектрлік энергиясын өндіру жазда шыңына жететін айтарлықтай маусымдық өзгерістерді көрсетсе де, ұзақ мерзімді метеорологиялық талдаулар Астананың жел ресурстарының жыл бойы берік және салыстырмалы түрде тұрақты екенін, қыста айтарлықтай өнімділікпен жұмыс істейтінін растайды (Mussagaliyeva et al., 2025). Бұл уақытша толықтыру жүйенің жалпы үзіліссіздігін төмендету, сенімділікті жақсарту және капиталды көп қажет ететін электролизердің жұмыс уақытын ұзарту арқылы сутегінің деңгейленген құнын (LCOH) арзандатуға бірден ықпал етеді.

Қазақстанның күшті жел қуаты факторлары мен тиімді экономикасына байланысты, елдің электр жүйесін оңтайландыруға негізделген бағалаулар жел басым портфолиолардың құны бойынша оңтайлы екенін бірнеше рет анықтады (Omigaliyev et al., 2025). Мұндай жағдайларда күн фотоэлектрлік энергиясы қосымша функция атқарады, сәулелену деңгейі жоғары болған кезде жаңартылатын энергия көздерінің қысқаруын азайтуға және электролиз негізіндегі сутегі өндірісін қоса алғанда, күндізгі энергияға деген сұранысты қанағаттандыруға көмектеседі. Батареялар кВт/сағ қымбатырақ болғандықтан, сутегі сақтау ұзақ мерзімді энергия теңгерімі үшін тиімдірек, ал қысқа мерзімді батарея сақтау

әдетте қуатты тегістеу, үдеткішті қолдау және жиілікті реттеу үшін қолданылады (Zhang et al., 2020). Артық жаңартылатын энергия өндірісін сіңіретін диспетчерлік жүктемелер ретінде қызмет ете отырып, электролизерлер жүйенің икемділігін одан әрі арттырады және жүйенің жалпы пайдаланылуын және экономикалық көрсеткіштерін жақсартады (IEA, 2023).

Қазақстан жағдайындағы оңтайландыру нәтижесі мен экономикалық өміршеңдігіне электр желісіне қосылған және автономды ЖЭС арасындағы стратегиялық шешім үлкен әсер етеді. Желіге қосылған жүйелер жоғары икемділікті қамтамасыз етеді, бұл жаңартылатын энергия көздерін өндірудегі тапшылық кезінде электр қуатын импорттауға және артық электр энергиясын экспорттауға мүмкіндік береді. Өндіріс және сақтау активтерінің шамадан тыс көлеміне қажеттілік аз болғандықтан, бұл келісім әдетте таза ағымдағы құнның (NPC) және LCOH-тың төмендеуіне әкеледі (IRENA, 2025). Дегенмен, бұл экономикалық пайданы бағалау кезінде қоршаған ортамен өзара әрекеттесуді ескеру қажет. Электр желісінің айтарлықтай импорты өндірілген сутегінің «жасыл» сапасына қауіп төндіруі және жанама өмірлік цикл шығарындыларын арттыруы мүмкін, себебі Қазақстан электр желісі әлі де көмірмен жұмыс істейтін өндіріске тәуелді (Shin et al., 2023).

Екінші жағынан, толығымен автономды (желіден тыс) жүйелер, әсіресе Астананың қатты қыстарында сенімділікті сақтау үшін жаңартылатын қуат пен сақтау үшін бастапқы шығындарды көп қажет етсе де, сөзсіз экологиялық таза сутегін жасау артықшылығына ие. Қатаң тұрақтылық талаптары бар жоғары деңгейлі шетелдік нарықтарға бағытталған экспортқа бағытталған жобалар үшін бұл сапа өте маңызды. Алыстағы өнеркәсіптік орындар үшін автономды жүйелер энергетикалық қауіпсіздікті де жақсартады. Ақырында, таңдау инфрақұрылымның қолжетімділігін, сутегінің соңғы пайдаланылуын (ішкі және экспорттық), орналасқан жеріне байланысты желілік көміртегі қарқындылығын және ұзақ мерзімді декарбонизация мақсаттарын теңестіретін көп критерийлі бағалауға негізделген.

Жүйе шекараларын дәл анықтау және жоғары дәлдіктегі, учаскеге тән кіріс деректерін жинау ГЖЭЖ -ні мұқият жобалаудың алғашқы қадамдары болып табылады. Қазақстандық бағыттағы зерттеулерге арналған жүйе шекарасы әдетте электролизер стегі, сутегі қоймасы, қуатты түрлендіру қондырғылары, электр қоймасы (BESS), жаңартылатын генераторлар (жел, фотоэлектрлік) және қажет болған жағдайда электр желісіне қосылу нүктесін қамтиды. Мақсатты учаске үшін нақты, ұзақ мерзімді сағаттық ауа райы деректерін пайдалану өте маңызды. Бұл қоршаған орта температурасын, жаһандық көлденең сәулеленуді және Астана үшін хаб биіктігіндегі жел жылдамдығын қамтиды, мұның бәрі қатал континенттік ортаның өнімділікке қалай әсер ететінін түсіну үшін өте маңызды (Huld and Amillo, 2015).

Негізгі жүйелік шектеулерді репрезентативті жүктеме профилдері және сутегі өндірісінің нақты мақсаты (мысалы, жылдық тонна) ретінде сипаттау қажет. Қосымша маңызды кіріс қабаты экономикалық параметрлерден тұрады.

Қазақстанның электр энергиясының бағалары айтарлықтай ауытқып, 2019 жылдың басындағы 11,57 теңге/кВтсағ-тан 2025 жылдың ортасына қарай 27,93 теңге/кВтсағ-қа дейін жетті. Сол сияқты, соңғы он жылда жылдық инфляция 5,2%-дан 15,0%-ға дейін өзгерді, бұл динамикалық экономикалық модельдеудің қажеттілігін көрсетеді (Stat.gov.kz, 2025). Капиталдық шығындарды есептеу жабдық құнына негізделген. Егер бұл параметрлер нақты құжатталса, оңтайландыру моделі жергілікті шындыққа негізделгеніне кепілдік беріледі.

Сенімді модельдеу әрбір жүйе компонентін дәл модельдеуден басталады. Астананың қысқы төмен температурасы ауа тығыздығында орынға тән өзгерістерге әкеледі, бұл өндірушінің қуат қисықтарын пайдаланып жел турбинасының қуат шығысын есептеу кезінде ескерілуі керек. Фотоэлектрлік модульдердің жұмысын модельдеу кезінде сәулелену және температураға тәуелді тиімділік шығындары ескеріледі. Циклдің қызмет ету мерзімі, разряд тереңдігінің шектеулері және температураға тәуелді тозу - мұның бәрі батареяны сақтау модельдеріне енгізілуі керек. LiFePO4 химиясы катал ортада ұзақ қызмет етуі және қауіпсіздігі үшін жиі қолданылады (Tang et al., 2024). Shiva Kumar and Himabindu (2019) айтуынша, электролизер моделіне түрлендіру тиімділігі (әдетте қазіргі заманғы PEM/AEL жүйелері үшін 60-75%), минималды жартылай жүктеме шегі, рампы жылдамдығы және уақыт өте келе деградация параметрлері қажет.

Диспетчерлік алгоритм, сондай-ақ операциялық стратегия деп аталады, энергия ағынын нақты уақыт режимінде басқарады. Әдетте иерархиялық басымдық қолданылады: 1) электролизер жүктемесі алдымен жаңартылатын энергия көздерімен қамтамасыз етіледі; 2) кез келген артық заряд батареяны зарядтайды; 3) толық зарядталған батарея электр желісінің экспортына (егер қосылған болса) немесе қысқартуға әкелуі мүмкін; және 4) батарея жаңартылатын энергия тапшылығы кезінде разрядталады, электр желісінің импорты немесе резервтік генератор соңғы шара ретінде қолданылады. Бұл тәсіл сутегі өндірісіне басымдық бере отырып, айнымалы жаңартылатын ресурстарды пайдалануды барынша арттырады (Zhao et al., 2022).

Электролизер суды электрохимиялық жолмен бөлу арқылы электр энергиясын сутегі газына айналдырады. Сутегі өндірісінің жылдамдығының моделі:

$$P_{el} = \frac{\dot{m}_{H_2} * LHV_{H_2}}{\eta_{el}}$$

Мұндағы,

- $P_{el}$  – электролизерге түсетін электр қуаты (кВт),
- $\dot{m}_{H_2}$  – сутегінің массалық ағынының жылдамдығы (кг\*сағ<sup>-1</sup>),
- $\eta_{el}$  – электролизердің тиімділігі,
- $LHV_{H_2}$  – сутегінің төменгі қыздыру мәні ( $\approx 33.33$  кВт\*сағ\*кг<sup>-1</sup>) (Shabeeb Alkhalidi et al., 2024).

Протон алмасу мембранасы (PEM) және сілтілі (AEL) электролизер технологиялары ескеріледі; қазіргі заманғы коммерциялық жүйелер үшін стек

тиімділігі әдетте 60%-дан 75%-ға дейін болады (Shiva Kumar and Himabindu, 2019). Модельге негізгі операциялық шектеулер де кіреді, мысалы, рампы-жылдамдық шектеулері, жүктеме функциясы ретіндегі тиімділіктің ауытқулары және жартылай жүктеменің минималды шектері (әдетте номиналды қуаттың 10-20%) (Zhao et al., 2022).

**Материалдар мен әдістер.** Бұл зерттеу сутегі өндірісі бар гибриді жаңартылатын энергия жүйелері (ГЖЭЖ) бойынша тиісті зерттеулерді анықтау, таңдау және талдау үшін құрылымдалған және ашық әдебиетке негізделген әдіснаманы пайдаланады. Әдістемелік негіз объективтілікті, қайталанымдылықты және жүйені оңтайландыру зерттеулеріне қатыстылықты қамтамасыз ету үшін әзірленді.

Ғылыми басылымдар Scopus, ScienceDirect және Google Scholar сияқты кеңінен танымал академиялық дерекқорлардан жиналды. Әдебиеттерді іздеу соңғы технологиялық және әдіснамалық әзірлемелерді көрсету үшін 2017 жылдан бері жарияланған сарапшылар қарастырған журнал мақалаларына, конференция материалдарына және техникалық есептерге бағытталған. Іздеу стратегиясы гибриді жаңартылатын энергия жүйелеріне, сутегі өндірісіне, энергия сақтау технологияларына және оңтайландыру әдістеріне қатысты кілт сөздер тіркесімдеріне сүйенді. Әлеуетті тиісті зерттеулерді анықтау үшін алдымен тақырыптар, тезистер және автор ұсынған кілт сөздер талданды.

Содан кейін деректер жиынтығын нақтылау үшін көп сатылы іріктеу процесі қолданылды. Біріншіден, жарияланым тақырыбы мен құжат түріне байланысты қайталанатын және маңызды емес жазбалар алынып тасталды. Екіншіден, қалған зерттеулер жүйенің конфигурациясы, жаңартылатын энергия көздерінің саны, оңтайландыру мәселелерінің болуы және сутегі немесе энергия үнемдеу жүйелеріне қатыстылығы сияқты алдын ала анықталған іріктеу критерийлеріне сәйкес бағаланды. Бұл кезеңде нақты оңтайландыру шеңбері жоқ шолу мақалалары мен зерттеулері алынып тасталды.

Соңғы іріктеу кезеңі әдіснамалық дәлдікті, жүйелік модельдеу тәсілін және қолданылатын оңтайландыру әдістерін бағалау үшін толық мәтінді шолуды қамтыды. Тек кем дегенде екі жаңартылатын энергия көзі бар сутегі негізіндегі жаңартылатын энергия жүйелерін зерттейтін және жүйені жобалау немесе пайдалануды оңтайландыру мәселелерін нақты қарастыратын зерттеулер ғана таңдалды. Содан кейін оңтайландыру алгоритмдері, мақсатты функциялар, есептеу күрделілігі және жүйенің шектеулері сияқты негізгі әдіснамалық сипаттамаларды алу және салыстыру үшін құрылымдалған дерекқор жасалды. Бұл әдіснама жаңартылатын энергия жүйелері үшін кеңінен қолданылатын оңтайландыру тәсілдерін мақсатты және бірізді талдауға мүмкіндік береді және болашақ жүйені дамытуға қатысты басым зерттеу үрдістері мен әдіснамалық олқылықтарды анықтауға көмектеседі.

Ашықтығы мен қолжетімділігіне байланысты, пайдаланушы анықтаған шекаралардағы жан-жақты іздеу әдістерін қолданатын HOMER Pro сияқты бағдарламалық құралдар Қазақстанда алдын ала ГЖЭЖ жобалау үшін кеңінен

қолданылады (Giedraityte et al., 2025). Модельденген конфигурациялар арасындағы шығындарды осы технологиялардың арқасында анық түсіндіруге болады. Дегенмен, түйіршіктілік өзгерген сайын, олардың есептеу жүктемесі тез артады. Аралас бүтін санды сызықтық бағдарламалау (MILP) сияқты детерминистік әдістер есептеуді талап етеді және бірнеше сақтау технологиялары мен климаттық белгісіздіктері бар ГЖЭЖ-ға тән жоғары өлшемді, сызықтық емес мәселелерді шеше алмауы мүмкін болса да, олар айқын компромисстік сандық бағалау маңызды болатын жоғары дәлдіктегі жоспарлау сценарийлері үшін өте қолайлы.

Күрделі, сызықтық емес жобалау кеңістіктерінде тиімдірек шарлау үшін генетикалық алгоритмдер (GA), бөлшектер тобын оңтайландыру (PSO), дифференциалды эволюция (DE) және басым емес сұрыптау генетикалық алгоритмі II (NSGA-II) сияқты күрделі әдістер қолданылады. PSO және DE сияқты метаэвристика өздерінің керемет жаһандық іздеу мүмкіндіктері мен жылдам конвергенциясының арқасында желіден тыс жүйелерді жобалауда жоғары өнімділік көрсетті. Әсіресе, торға қосылған жүйелерде NSGA-II сияқты эволюциялық алгоритмдер көп мақсатты оңтайландыру үшін өте қолайлы, себебі олар құны, сенімділігі және шығарындылары сияқты қарама-қайшы мақсаттарды теңестіру үшін кең көлемді Парето фронтын зерттеуді қамтамасыз етеді (Ssekulima and Etemadi, 2025).

**Нәтижелер мен талқылау.** ГЖЭЖ оңтайландыру зерттеулерінің көпшілігінде экономикалық тиімділік басты мақсат болып қала береді. Сутегінің деңгейленген құнын (LCOH) және таза ағымдағы құнның (NPC) төмендеуі негізгі шаралар болып табылады. Жоба барысында NPC барлық дисконтталған шығындарды, соның ішінде капиталдық инвестицияларды, ауыстыруды, пайдалануды және техникалық қызмет көрсетуді, отынды (қажет болған жағдайда) және энергия сатып алу шығындарын есептемегенде жинақтайды. Өндірілген сутегінің бір килограммына шаққандағы орташа құны немесе LCOH жүйенің жалпы құнын да, өндірілген сутегінің жалпы мөлшерін де ескереді (IRENA, 2025).

Қазақстанның макроэкономикалық құбылмалылығының бұл көрсеткіштерге тигізетін айтарлықтай әсерін асыра бағалау мүмкін емес. Капиталды және пайдалану шығындарының орташа өлшенген құны инфляцияның күрт өсуімен айтарлықтай артады (мысалы, 2022 жылы 15%). Сонымен қатар, су электр станциялары (ГЭС) сияқты ұзақ мерзімді капиталды көп қажет ететін жобалар дисконттау мөлшерлемесін анықтайтын 14-17% жоғары депозиттік мөлшерлемелерден зардап шегеді (2025 жылғы деректерге негізделген) (Stat.gov.kz, 2025). Дисконттау мөлшерлемесінің  $\pm 2\%$ -ға өзгеруі жүйенің идеалды конфигурациясын және LCOH-ны 15%-дан астамға өзгерте алатындықтан, осы экономикалық факторлар бойынша сезімталдықты зерттеу міндетті емес, бірақ қажет (IRENA, 2025).

Қазақстандағы айтарлықтай макроэкономикалық құбылмалылыққа байланысты ГЖЭЖ үшін экономикалық сезімталдықты талдау өте маңызды. Зерттеліп отырған жобалық құжаттар дисконттау мөлшерлемелері мен инфляцияның өзгерістерін арнайы қарастырады. Техникалық көрсеткіштер тұрақты болып қалса

да, өмірлік цикл шығындары жоғары инфляция сценарийлерінде айтарлықтай артады (мысалы, >10%) (Karatajev et al., 2016). Жел турбиналары мен электролизерлер дисконттау мөлшерлемесін таңдауға өте сезімтал капиталды көп қажет ететін компоненттердің мысалдары болып табылады. 2025 жылы байқалған 14-17% депозиттік мөлшерлемелермен салыстыруға болатын жоғары дисконттау мөлшерлемелері алдын ала инвестицияларды жазалайды және көбінесе ең жақсы шешімдердің кішірек жүйе өлшемдеріне немесе электр желісіне көбірек тәуелділікке ауысуына әкеледі. Бұл нәтижелер экономикалық белгісіздікті екінші фактор ретінде қарастырудың орнына тікелей қамтитын оңтайландыру құрылымдарының қажеттілігін көрсетеді (Jahan et al., 2025).

Техникалық сезімталдықты талдау компоненттердің жұмыс істеуіндегі белгісіздіктің және жаңартылатын ресурстардың өзгергіштігінің әсерін бағалайды. Жылдық энергияның көп бөлігін жел энергиясы қамтамасыз ететін Астанада орналасқан жүйелер үшін жел жылдамдығына сезімталдық ерекше маңызды. Зерттеу нәтижелері LCOH орташа жел жылдамдығының 10%-ға төмендеуімен 15%-дан астамға артуы мүмкін екенін көрсетеді, бұл негізінен электролизерді пайдаланудың төмендеуіне байланысты (Li et al., 2024). Оңтайландыру нәтижелеріне минималды жүктеме шектеулері мен электролизердің тиімділігі де әсер етеді. Шектеулі минималды жүктеме жұмыс икемділігін шектесе, жоғары тиімділік сутегі өндіру құнын тікелей төмендетеді. Өмірлік циклді модельдеуде батареяның қызмет ету мерзімі мен қатты температурада тозуымен байланысты қосымша белгісіздікке байланысты сақтықпен болжамдар жасау қажет (Tang et al., 2024).

Осылайша, жел энергиясы басым гибридті конфигурациялар Астана сияқты континенттік климат үшін ең тиімді шешім болып табылады, бұл жоғары қуат факторларын және күн фотоэлектрлік жүйелерімен маусымдық үйлесімділікті жақсартады, бұл жүйенің жалпы сенімділігін арттырады және артық энергияны сақтау қажеттілігін азайтады. Экономикалық бағалаулар сутегінің (LCOH) теңестірілген құнын және таза ағымдағы құнды (NPC) негізгі оңтайландыру мақсаттары ретінде үнемі анықтайды, жел-РЕМ жүйелері үшін жаһандық LCOH мәндері килограммына 4,5 доллардан 6,5 долларға дейін өзгереді, бұл Қазақстанның дамып келе жатқан сутегі секторы үшін пайдалы эталон болып табылады. Макроэкономикалық тұрақсыздықтың әсеріне ерекше назар аударылады, өйткені инфляцияның күрт өсуі 15%-ға жетеді (2022) және 14-17% депозиттік мөлшерлемелер айтарлықтай белгісіздік тудырады, бұл сенімді жобаны бағалау үшін сенімді сезімталдық талдауын қажет етеді. Жел жылдамдығының өзгергіштігіне техникалық сезімталдық Астанада орналасқан жүйелер үшін маңызды факторға айналуға, онда жел жылдық энергия өндірісінің көп бөлігін құрайды; орташа жел жылдамдығының 10%-ға төмендеуі электролизерді пайдаланудың азаюына байланысты LCOH-ны 15%-дан астамға арттыруы мүмкін. Жеке компонент сипаттамалары, мысалы, минималды жүктеме шектеулері, тиімділік қисықтары және экстремалды температурадағы ыдырау жылдамдығы, оңтайландыру нәтижелеріне одан әрі әсер етеді, әсіресе суық жағдайларда литий

темір фосфаты батареяларының жұмысына баса назар аударылады. Сонымен қатар, электр желісіне қосылу мен электр желісінен тыс қосылу арасындағы ымыра стратегиялық тұрғыдан маңызды: электр желісіне қосылу артық қуат талаптарын азайту арқылы шығындарды 20-30%-ға төмендетуді қамтамасыз етеді, ал электр желісінен тыс жүйелер экспортқа бағытталған сутегі өндірісі үшін ымырасыз экологиялық сертификаттауға кепілдік береді, бұл әсіресе қатаң тұрақтылық критерийлері бар премиум еуропалық нарықтарға қол жеткізу үшін маңызды. Бұл тұжырымдар жергілікті метеорологиялық деректерді, экономикалық параметрлерді және сертификаттау талаптарын біріктіретін Қазақстанға тән онтайландыру модельдерін әзірлеу қажеттілігін көрсетеді. Дегенмен, экстремалды континентальды температура жағдайындағы компоненттер үшін ұзақ мерзімді пайдалану деректерінде айтарлықтай олқылықтар сақталуда, бұл болашақ зерттеулер мен пилоттық жобалардың басымдықтарын көрсетеді, бұл жүйені дәлірек модельдеу және жобалау үшін эмпирикалық негіз бола алады.

**Қорытынды.** Бұл зерттеу Қазақстанның аймақтық экономикалық параметрлерге және Астананың климаттық деректеріне негізделген оңтайландырылған гибриді жаңартылатын энергия жүйелері арқылы таза сутегін өндірудің техникалық тұрғыдан мүмкін және тиімді жолын ұсынатынын көрсетеді. Күн фотоэлектрлік жүйелерімен, батарея сақтау құрылғыларымен және мұқият таңдалған электролизерлермен біріктірілген гибриді жел жобалары аймақтық климаттық және қаржылық жағдайларда сенімді жұмыс істеуді қамтамасыз етеді. Әдебиетке шолу жел мен күн ресурстары арасындағы маусымдық өзара толықтыру жүйенің сенімділігін арттыратынын және электролизердің жұмыс уақытын ұзарту арқылы сутегі өндірісінің шығындарын азайтатынын растайды. Экономикалық бағалаулар LCOH (бірлік көлемдегі ұшпа органикалық қосылыстар) жел ресурстарының өзгергіштігіне және дисконттау мөлшерлемелеріне өте сезімтал екенін көрсетеді, бұл Қазақстанның тұрақсыз макроэкономикалық ортасында жобаларды жоспарлау кезінде сезімталдықты талдаудың маңыздылығын көрсетеді.

Бәсекеге қабілеттілікке қол жеткізу, әсіресе экспорттық нарықтарда, сутегі инфрақұрылымын кешенді дамытуды, стратегиялық саясатты қолдауды және технологиялық шығындарды үздіксіз төмендетуді қажет етеді. Электр желісіне қосылған және электр желісінен тыс жүйелер арасында таңдау жасау стратегиялық шешім болып табылады: электр желісіне қосылған жүйелер шығындарды 20-30%-ға төмендете алады, ал электр желісінен тыс жүйелер экспортқа бағытталған жобалар үшін ымырасыз экологиялық сертификаттауды қамтамасыз етеді. Эмпирикалық деректердегі, әсіресе экстремалды температурадағы ұзақ мерзімді компоненттердің өнімділігіне қатысты олқылықтарды жою, күрделі динамикалық оңтайландыру модельдерін енгізу және жүйе шекараларын бүкіл жеткізу тізбегі экономикасын қамту үшін кеңейту болашақ зерттеулердің негізгі басымдықтары болуы керек. Осы қиындықтарды шешу арқылы Қазақстан өзінің мол жаңартылатын ресурстарын стратегиялық тұрғыдан пайдаланып, дамып келе жатқан жаһандық жасыл сутегі экономикасының негізгі қатысушысы бола алады.

## References

- Bhattacharyya R., Singh K., K Bhanja and Grover R. (2024). Using electrolytic hydrogen production and energy storage for balancing a low carbon electricity grid: scenario assessments for India. *Energy and Climate Change*, 5, 100131–100131. DOI: 10.1016/j.egycc.2024.100131 (in Eng.).
- Franco A., and Giovannini C. (2023). Routes for hydrogen introduction in the industrial hard-to-abate sectors for promoting energy transition. *Energies*, 16 (16). – P. 6098–6098. DOI: 10.3390/en16166098 (in Eng.).
- Giedraityte A., Rimkevicius S., Marciukaitis M., Radziukynas V., and Bakas R. (2025). Hybrid renewable energy systems—A review of optimization approaches and future challenges. *Applied Sciences*, 15(4). – P. 1744. DOI: 10.3390/app15041744 (in Eng.).
- Guddanti K.P., Bharati A.K., Nekkhalu S., McWheter J., and Morris S. (2024). A comprehensive review: Impacts of extreme temperatures due to climate change on power grid infrastructure and operation. *arXiv*. DOI: 10.48550/arXiv.2410.08425 (in Eng.).
- Huld T., and Amillo A. (2015). Estimating PV module performance over large geographical regions: The role of irradiance, air temperature, wind speed and solar spectrum. *Energies*, 8(6). – P. 5159–5181. DOI: 10.3390/en8065159 (in Eng.).
- IEA. (2023). *Renewable power generation costs in 2021*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (in Eng.).
- IRENA. (2025). *Green hydrogen for industrial decarbonisation: Central Asia and the South Caucasus* (in Eng.).
- Jahan F., Md Mahfuj Hosen, Khan M.R., Islam M.S., and Talukder M. J. (2025). Hybrid renewable energy systems: Integrating solar, wind, and biomass for enhanced sustainability and performance. *SSRN Electronic Journal*. DOI: 10.2139/ssrn.5162816 (in Eng.).
- Karatayev M., Hall S., Kalyuzhnova Y., and Clarke M.L. (2016). Renewable energy technology uptake in Kazakhstan: Policy drivers and barriers in a transitional economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66. – P. 120–136. DOI: 10.1016/j.rser.2016.07.057 (in Eng.).
- Li X., Tang X., Ma M., Wang M., and Xu C. (2024). Levelized cost analysis of onshore wind-powered hydrogen production system in China considering landform heterogeneity. *Energy*, 313, 133942. DOI: 10.1016/j.energy.2024.133942 (in Eng.).
- Mussagaliyeva A., Mursal M., Mukayev Z., and Zhunussova M. (2025). Sustainable siting of wind farms in Kazakhstan: A case study of the Karaganda region. *Geojournal of Tourism and Geosites*, 63(4spl). – P. 2860–2868. DOI: 10.30892/gtg.634spl30-1645 (in Eng.).
- Omirgaliyev R., Shauyenova A., Merlenkyzy N., Maulen A., and Zhakiyev N. (2025). Study of scenario analysis of the electricity market of Kazakhstan using renewable energy sources on the PyPSA tool. *Applied Sciences*, 15(21). – P. 11497. DOI: 10.3390/app152111497 (in Eng.).
- Opakhai S., Kuterbekov K. and Zhumadilova Z. (2024). Hydrogen energy in Kazakhstan: prospects for development and potential. *Polityka Energetyczna*, 27(2). – P. 141–194. DOI: 10.33223/epj/188475 (in Eng.).
- Shin H., Jang D., Lee S., Cho H.-S., Kim K.-H., and Kang S. (2023). Techno-economic evaluation of green hydrogen production with low-temperature water electrolysis technologies directly coupled with renewable power sources. *Energy Conversion and Management*, 286, 117083. DOI: 10.1016/j.enconman.2023.117083 (in Eng.).
- Shiva K.S., and Himabindu V. (2019). Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(3). DOI: 10.1016/j.mset.2019.03.002 (in Eng.).
- Ssekulima E.B., and Etemadi A.H. (2025). Stochastic optimization framework for capacity planning of hybrid solar PV–small hydropower systems using metaheuristic algorithms. *Complex and Intelligent Systems*, 12(1). DOI: 10.1007/s40747-025-02151-w (in Eng.).
- Stat.gov.kz. (2025). *Inflation in the Republic of Kazakhstan: price dynamics including electricity tariffs* (in Eng.).
- Tang Z., Xie Z., Cai Q., Xia Z., Chen Q., Liang W., He J., Xing L., and Li W. (2024). Unlocking superior safety, rate capability, and low-temperature performances in LiFePO<sub>4</sub> power batteries. *Energy Storage Materials*, 67, 103309. DOI: 10.1016/j.ensm.2024.103309 (in Eng.).

Zhang Y., Hua Q.S., Sun L., and Liu Q. (2020). Life cycle optimization of renewable energy systems configuration with hybrid battery/hydrogen storage: A comparative study. *Journal of Energy Storage*, 30, 101470. DOI: 10.1016/j.est.2020.101470 (in Eng.).

Zhao D., Xia Z., Guo M., He Q., Xu Q., Li X., and Ni M. (2022). Capacity optimization and energy dispatch strategy of hybrid energy storage system based on proton exchange membrane electrolyzer cell. *Energy Conversion and Management*, 272, 116366. DOI: 10.1016/j.enconman.2022.116366 (in Eng.).

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

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

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

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

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

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

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

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

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

**[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)  
ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)  
<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>**

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*  
Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*  
Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 16.03.2026.

Формат 60x88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
18,0 п.л. Заказ 1.