

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

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Д.В. Сокольский атындағы
«Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
АО «Институт топлива, катализа и
электрохимии им. Д.В. Сокольского»

N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
JSC «D.V. Sokolsky institute of fuel,
catalysis and electrochemistry»

SERIES
CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

2 (451)

APRIL – JUNE 2022

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series of chemistry and technologies scientific journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of chemistry and technologies in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of chemical sciences to our community.

Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы «ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы» ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді химиялық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.

НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия химии и технологий» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество в глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАН РК в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по химическим наукам для нашего сообщества.

Бас редактор:

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

Редакция алқасы:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы»

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

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

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Тиражы: 300 дана.

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

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

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2022

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

Типографияның мекен-жайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Мұратбаев көш., 75.

Главный редактор:

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

«Известия НАН РК. Серия химии и технологий».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

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

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

Периодичность: 4 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

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

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

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2022

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

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief:

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

Editorial board:

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

AGABEKOV Vladimir Enokovich (deputy editor-in-chief), doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Belarus, honorary director of the Institute of Chemistry of new materials (Minsk, Belarus) H = 13

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan **No. KZ66VPY00025419**, issued 29.07.2020.

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

Periodicity: 4 times a year.

Circulation: 300 copies.

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

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

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2022

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

Address of printing house: ST «Aruna», 75, Muratbayev str, Almaty.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC
OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 2, Number 451 (2022), 74-92

<https://doi.org/10.32014/2022.2518-1491.104>

А.Б. Диханбаев^{1*}, Б.И. Диханбаев², С.Б. Ыбрай², Ж.Т. Бекишева²

¹Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан;

²Казахский Агротехнический университет имени С. Сейфуллина,

Нур-Султан, Казахстан.

E-mail: arystan.d74@gmail.com

**РАЗРАБОТКА БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ
ЗОЛОТВАЛОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ПОЛНОЙ
ДЕКАРБОНИЗАЦИЕЙ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ**

Аннотация. В электростанциях РК от сжигания высокзолых екибастузских углей ежегодно выбрасывается в атмосферу до 100 млн тонн углекислого газа. С золой теряется до 200 г/т галлия и германия, 1 г/т золота, 4% цинка, 1% свинца, 0,3% кадмия и других элементов. Проведенные расчеты тепловой схемы показали: себестоимость синтез газа с учетом произведенной в системе дополнительной продукции будет 5тг/м³, что ~ на 35% ниже чем эквивалентной стоимости природного газа (8тг/м³ в случае извлечения золота из расплава, во всем диапазоне изменения цен на удаление CO₂, срок окупаемости системы не превышает 4-5 лет; в случае отсутствия извлечения золота, при цене нейтрализации CO₂ (\$200/84000 тг)/т со сроком окупаемости 7,6 лет, вложение инвестиции находится близко к зоне экономической целесообразности.

Ключевые слова: зола, инверсионная фаза реактора, безотходная технология, сингаз, редкий, сублиматы цветных металлов.

А.Б. Диханбаев^{1*}, Б.И. Диханбаев², С.Б. Ыбрай², Ж.Т. Бекишева²

¹Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан;

²С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,
Нұр-сұлтан, Қазақстан.

E-mail: arystan.d74@gmail.com

ШЫҒАТЫН ГАЗДАРДЫ ТОЛЫҚ ДЕКАРБОНИЗАЦИЯЛАУ АРҚЫЛЫ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ КҮЛ ҮЙІНДІЛЕРІН ҚАЙТА ӨНДЕУДІҢ ҚАЛДЫҚСЫЗ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӨЗІРЛЕУ

Аннотация. Қазақстан Республикасының электр станцияларында күлділігі жоғары Екібастұз көмірлерін жағудан жыл сайын атмосфераға 100 млн тоннаға дейін көмірқышқыл газы бөлінеді. Күлмен 200 г/т дейін галий мен германий, 1 г/т алтын, 4% мырыш, 1% қорғасын, 0,03% кадмий және басқа элементтер жоғалады.

Жылулық сұлбаның есептеулері көрсеткендей: жүйеде өндірілетін қосымша өндірісті ескере отырып, синтездік газдың құны 5тг/м³ болады, бұл табиғи газдың баламалы құнынан (8тг/м³) ~35% төмен; балқымадан алтын алу жағдайында, СО₂-ні кетіру бағасының өзгеруінің барлық диапозонында жүйенің өтелу мерзімі 4-5 жылдан аспайды; алтын өндіру болмаған жағдайда, СО₂ залалсыздандыру бағасы бойынша (\$200/84000 теңге)/т өтелу мерзімі 7,6 жыл, инвестиция экономикалық орындылық аймағына жақын.

Түйін сөздер: күл, инверсиялық фаза реакторы, қалдықсыз технология, СО₂ бейтараптандыру, сингаз, түсті металдардың сублиматтары.

A.B. Dikhanbayev^{1*}, B.I. Dikhanbayev², S.B. Ybray², Zh.T. Bekisheva²

¹Almaty University of Energy and Communications, Almaty, Kazakhstan;

²Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin,
Nur-Sultan, Kazakhstan.

E-mail: arystan.d74@gmail.com

DEVELOPMENT OF WASTE-FREE TECHNOLOGY FOR PROCESSING ASH DUMPS OF POWER PLANTS WITH COMPLETE DECARBONIZATION OF EXHAUST GASES

Abstract. In the power plants of the Republic of Kazakhstan, from the combustion of high-ash Ekibastuz coals, up to 100 million tons of carbon dioxide are

annually released into the atmosphere. Up to 200 g/t of gallium and germanium, 1 g/t of gold, 4% zinc, 1% lead, 0.03% cadmium and other elements are lost with ash. The calculations of the thermal scheme showed: the cost of synthesis gas, taking into account the additional production produced in the system, will be 5tg/m³, which is ~ 35% lower than the equivalent cost of natural gas (8 tg/m³); in the case of extracting gold from the melt, in the entire range of changes in prices for CO₂ removal, the payback period of the system does not exceed 4-5 years; in the absence of gold extraction, at the price of CO₂ neutralization (\$200/84000 tenge)/t with a payback period of 7.6 years, the investment is close to the zone of economic feasibility.

Key words: ash, reactor inversion phase, waste-free technology, CO₂ neutralization, syngas, sublimates of rare, non-ferrous metals.

Введение. Республика Казахстан (РК) занимает восьмое место по разведанным запасом угля, достаточного на сотни лет. От сжигания Экибастузского угля в отвалах находится более 300 млн тонн золы и их запасы неуклонно растут, на 30 млн. т/год, что может привести к неминуемой техногенной катастрофе. В РК около 80% электроэнергии производится от сжигания угля и ежегодно выбрасывается в атмосферу свыше 100 млн тонн диоксида углерода. В глобальном масштабе избыток CO₂ в атмосфере сопровождается изменением климата, что преподносит катаклизмы в виде наводнении, лесных пожаров, засухи и т.д.

Поскольку глобальные выбросы углерода продолжают расти, климатическая цель 1,5°C к 2050 выглядит все менее и менее оптимистичной без принятия решительных мер по сокращению выхода углекислого газа на местах и удалению из атмосферы.

Многообещающим инструментом в этом плане является применение способа прямого захвата воздуха (DAC - direct air capture). По оценке компании Climate Engineering стоимость уловленного CO₂ из воздуха сильно различаются: от 100 до 1000 долларов за тонну. Имеется и другой вариант решения. Компания по прямому улавливанию воздуха, Climeworks предлагает смешивать захваченный CO₂ с водой и закачивать его на 500-600 метров под землей, где газ вступит в реакцию с окружающим базальтом и превратится в камень. Однако, даже при дороговизне и успешном внедрении вышесказанных технологии, с CO₂ будет утеряно энергетически ценный составляющий «С» и придется заново извлекать из земли и использовать углеродное топливо в прежнем масштабе. Более того, с учетом глобальных выбросов CO₂ на сегодняшний день 36 гигатонн/год, потребуется строительство дорогостоящих хранилищ.

Использование низкоуглеродных топлив в индустрии и на транспорте

и применение более строгих экологических законов, стимулировал спрос на крупномасштабное производство синтез газа из угля. Средний расход угля составляет (2–2,4) кг/ м³ газа. Синтез газ может очищаться и перерабатываться для получения топливных элементов, заменителя природного газа или синтетических нефтепродуктов (Zhu, 2010), (Wang, 2010), (Handbook, 2003), (Lianguyong, KY 40511-8410).

Тем не менее у синтез газа есть ряд существенных недостатков. По подсчетам консультационной группы Wood Mackenzie завод по производству сингаза в Китае окупается при цене в \$0,23/нм³СГ. Если учесть максимальную калорийность сингаза 11000кДж/нм³, а природного газа – 35000 кДж/нм³, то приведенная стоимость сингаза по отношению к природному газу будет - \$0,23*(35000/11000) = \$0,73/нм³СГ. При предельной оптовой стоимости товарного природного газа в Республике Казахстан - \$0,062/м³ПРГ (26 тг/м³) приведенный 1м³ сингаза будет стоит почти в 12 раз дороже и не сможет конкурировать с природным газом.

Одной из возможных путей снижения себестоимости сингаза является использование для газификации высокозольного Экибастузского угля. Как известно 1 кДж ЭУ в ~ 4 раза дешевле 1 кДж природного газа. Тогда приведенная стоимость 1 кДж сингаза будет только в 3 раза выше, чем 1 кДж природного газа. Дальнейшее удешевление сингаза может происходить за счет параллельного производства дополнительной продукции при плавке офлюсованной газификаторной золы: расплава пригодного для производства строительной продукции и коллективного концентрата от возгонки цинка, свинца, кадмия, германия, галлия и пылевидного золота.

Другим недостатком газификации угля является высокий уровень выбросов CO₂ (3,5 кг CO₂ /м³ СГ). Если учитывать ежегодный выброс 100 млн тонн CO₂ только электростанциями РК, то нижний порог затрат на его улавливание составит 10 миллиардов долларов в год, что явно неподъемное бремя для экономики страны. К тому же, для снабжения завода ДАС, чтобы улавливать 100 млн тонн CO₂ в год, потребуются около четырех тысяч тонн гидроксида калия (КОН), что в сотни раз превышает годовые поставки этого химического вещества в РК.

С целью сокращения выбросов CO₂ авторы предложили энерго-экологически эффективную технологию описанной в (Диханбаев, 2020). Ее упрощенная схема следующая. В отходящие газы плавильного реактора вмешиваются пары цинка, которые реагируют с углекислым газом по обобщенной формуле $2Zn+CO_2=2ZnO+C$ (1). Образовавшаяся смесь окиси цинка и элементного углерода, после отделения от газов в электрофилт্রে, загружается в установку «дистиллятор-конденсатор», где цинк восстанавливается из окиси посредством элементного углерода,

затем дистиллируется, конденсируется, снова испаряется, вдувается в отходящие газы реактора. В итоге процесс повторяется и цинк замкнуто циркулирует в системе. Таким образом достигается двойной эффект: сокращается выбросы CO_2 в окружающую среду и возвращается углерод топлива обратно в процесс.

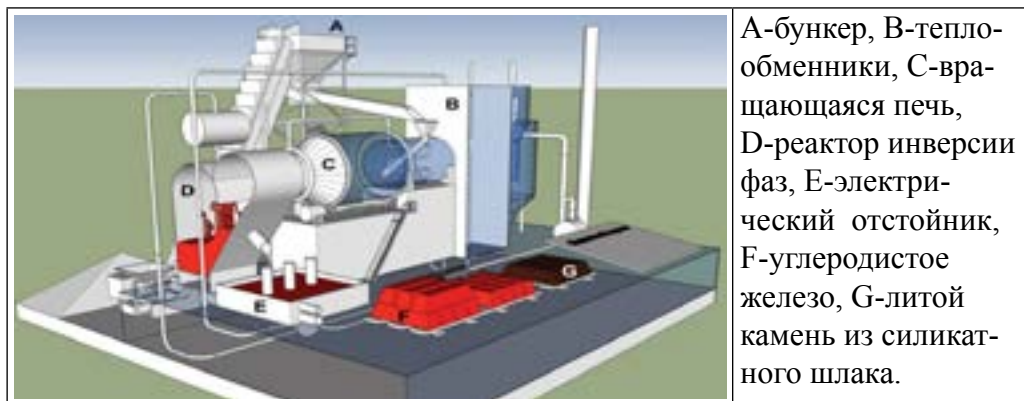
При сжигании екибастузского угля с зольностью 45-50% в тепло-электрических станциях Республики Казахстан золой теряется до: 200 г/т галлия, германия, 1 г/т золота, 4% цинка, 1% свинца, 0,3% кадмия и других элементов (Хамзин, 2003; Перегудов, 2000; Александрова, 2014; Кошумбаев, 2018).

Предшествующие работы велись в направлении использования золошлаков в дорожном строительстве, производства строительных материалов как ячеистого бетона, золобетона, в виде укрупненных лабораторных исследований по извлечению радиоактивных металлов, глинозема, кремнезема с помощью химических реагентов, выделение железосодержащей фракции методом мокрой магнитной сепарации, отделение несгоревшего угля методом флотации, использование золы в составе реагента для глубокой очистки сточных вод от сульфат-ионов (Кошумбаев, 2018 ; Блайда, 2008; Борбат, 2000; Михайлов, 2008). Однако, несмотря на их несомненную важность, все перечисленные исследования направлены на переработку отходов угля, следуя остаточному принципу «сначала создавать отходы, затем их «успешно» перерабатывать».

Методология. Для выполнения поставленной задачи применен метод предельного энерго-ресурсосбережения, который подразумевает: выбор энергосберегающего оборудования и формирование системы комплексной переработки золоотходов; разработку тепловой схемы отделения из CO_2 элементного углерода с его регенеративным использованием и получения высоководородистого сингаза из высокозольного угля.

Проведение экспериментов и обсуждение результатов. Проведение экспериментов по извлечению германия из шлаков. Опыты проводились на пилотной установке «реактор инверсии фаз-трубчатая печь» использующий новый принцип переработки расплава – «идеальное» смешение- «идеальное» вытеснение (Dikhanbayev, 2017; Dikhanbayev, 2019; Dikhanbayev, 2018; Dikhanbayev, 2021).

В экспериментах использовался отвальный шлак следующего химического состава, %: GeO_2 (0,011 – 0,0115); ZnO (9,5 – 10); PbO (0,1 – 1,15); Cu (0,6 – 1,0); FeO (7–8); Fe_2O_3 (2–3); Fe_3O_4 (23–24); SiO_2 (27–28); CaO (13–14); Al_2O_3 (7–9); S (0,4 – 0,5).



А-бункер, В-теплообменники, С-вращающаяся печь, D-реактор инверсии фаз, Е-электрический отстойник, F-углеродистое железо, G-литой камень из силикатного шлака.

Рисунок 1 – Модель пилотной установки по переработке техногенных отходов.

В таблице 1 приведены фрагменты результатов опытов над цинксодержащим шлаком.

Таблица 1 – Результаты экспериментов по возгонке цинка и германия из шлака в реакторе инверсии фаз

$H_{\text{риф}}$ мм. вод.ст.	$t_p, ^\circ\text{C}$	МВ, кг	$P_{\text{риф}},$ $\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$	$\frac{I_c}{G_B}$	$\frac{Zn^H}{Zn^K}, \text{ \%/\%}$	$\frac{Ge^H}{Ge^K},$ $(\text{г/т})/(\text{г/т})$	Е, %	$V_{\text{прг}},$ $\frac{\text{нм}^3}{\text{ч}}$	$V_{\text{кисл}},$ $\frac{\text{нм}^3}{\text{ч}}$	$t_{\text{воз}},$ $^\circ\text{C}$	Zn в возго нах, %
50-100	1300-1400	75	693	0.56	10.15/3,34	114/26	77	300	80	240	57
50-100	1300-1400	84	674	0.42	10.15/2.13	120/25	79	317	90	250	60

Здесь: $H_{\text{риф}}$ – давление газов в реакторе, t_p – температура в ванне расплава, МВ, $P_{\text{риф}}$ – масса ванны и производительность реактора, $\frac{I_c}{G_B}$ - отношение импульса газов в соплах продувочной решетки к весу ванны реактора, $\frac{Zn^H}{Zn^K}$ - отношение начальной и конечной концентрации цинка в шлаке, $\frac{Ge^H}{Ge^K}$ - отношение начального и конечного содержания германия в шлаке, Е – степень извлечения цинка и германия из шлака, $V_{\text{прг}}$ – расход природного газа в реактор инверсии фаз, $V_{\text{кисл}}$ – расход кислорода на процесс, $t_{\text{воз}}$ температура дутьевого воздуха с воздухоподогревателя.

Согласно таблицы 1, извлечение германия и цинка из шлаков составляет более 70%. Тот факт, что степень восстановления германия и цинка находится примерно на одинаковом уровне, указывает на непосредственную зависимость извлечения германия от присутствия цинка. Авторы работы (Окунев, 1966) также утверждают, что на практике фьюмингования цинксодержащих шлаков наблюдается прямая зависимость извлечения германия от отгонки цинка, т.е., чем больше содержание цинка в шлаке и выше температура процесса, тем успешнее удаление германия из расплава.

С целью изучения вероятности восстановления германия газами CO (H_2) и парами цинка были изучены их термодинамические характеристики в пределах температур 1200 – 1400 $^\circ\text{C}$ (Outokumpu, 2002). В результате можно заключить, что фактор изменения энергии Гиббса для восстановления германия из его оксида газами CO (H_2) отрицательно, константа реакций (K) при 1200 $^\circ\text{C}$ меняется от 3,002 до 19,24, что указывает на вероятность протекания реакций. Наибольшее абсолютное значения фактора ΔG и « K », следовательно, ожидаемое извлечение Ge достигается при восстановлении германия цинковыми парами по формулам $\text{GeO}_2 + 2\text{Zn} = 2\text{ZnO} + \text{Ge}$ ($t = 1200^\circ\text{C}$, $K = 2894,0$) и $\text{GeO}_2 + \text{Zn} = \text{ZnO} + \text{GeO}$ ($t = 1200^\circ\text{C}$, $K = 2089,0$). При этом значение константы равновесия реакций при извлечении цинковыми парами на два порядка выше чем при восстановлении Ge газами CO (H_2).

Согласно таблице 2, давление насыщенного пара цинка на 25 раза больше чем у GeO , что указывает на доминирующую роль подъемной силы цинка при извлечении сопутствующих продуктов реакции из расплава.

Для реакции восстановления галлия из Ga_2O_3 газами CO (H_2) и парами цинка, также в пределах температур 1200 – 1400 $^\circ\text{C}$, фактор изменения энергии Гиббса положительный, а константа равновесия реакций меньше единицы, что указывает на малую вероятность протекания процесса.

Однако, для реакции $\text{Ga}_2\text{O}_3 + \text{C} = \text{Ga}_2\text{O} + \text{CO}_2$ в пределах температур 1200 – 1400 $^\circ\text{C}$, наибольшее абсолютное значения фактора ΔG (-150.520) и K (50 060.0), указывает на осуществимость процесса. Последнее утверждение согласуется результатами опытов. Согласно (Блайда, 2008) для получения обогащенных галлием продуктов рекомендуется осуществлять плавку золы с добавлением 20-25 мас. % угля и подачей в реакционную зону горячего (900 $^\circ\text{C}$) воздуха. Авторы утверждают, что происходит вторичная возгонка легколетучего Ga_2O и обогащение уноса ценными металлами в 10-20 раз по сравнению с исходной золой.

Согласно таблице 2 германий, также как галлий и золото, нелетуч из-за высокой температуры кипения и низкого давления насыщенного пара. Поэтому авторы приходят к мнению что рычагом извлечения германия из шлака могло служить способность смешения германия с цинком и подъемная сила испаряющегося цинка из слоя расплава. Осуществление такого процесса стало возможным благодаря созданию в расплаве процесса близкого к “идеальному” смешению, в котором обеспечивается условие для коагуляции частиц цинка, германия.

В таблице 2 иллюстрируются характеристики металлов, содержащихся в золе от сжигания Экибастузского угля.

Таблица 2 – Теплофизические свойства металлов

№	Металлические компоненты золы	Температура плавления, °С	Температура кипения, °С	Давление насыщенного пара, мм.рт. ст. (при 1300°С)
1	Цинк	419.5	906	13 289,0
2	Германий	936	~2700	0,012
3	Оксид германия (II)	280	710	514
4	Галлий	29.75	1983	0,228
5	Золото	1063	2600	0,00063

Согласно (Guojin, 2019) цинк и галлий в расплавленном состоянии смешиваются во всех отношениях. Описаны легкоплавкие сплавы, содержащие до 72% галлия. Эвтектический сплав 5% цинк и 94-95% галлий плавится при 25°С. В системе цинк-германий имеется эвтектика, содержащая 6% германия, с температурой плавления 398°С (Long, Vol.95).

Известен способ Паркесса (Raquel, 2015; Koizhanova, 2012; Viladevall, 2013), согласно которому в свинецсодержащий расплав вводят металлический цинк для извлечения частиц золота и серебра. При этом образуются интерметаллиды «цинк-золото-серебро», которые вследствие расслаивания системы «свинец-цинк-золото-серебро» переходят в поверхностный слой свинца в виде так называемой золото-серебристой пены. Пену снимают с поверхности и направляют на переработку для извлечения золото-серебристого сплава (сплав Доре).

На основании приведенных доводов также можно было бы предположить о возможности образования интерметаллида «цинк-золото» в слое расплава с «идеальным» смешением и извлечении тонкодисперсного золота в газовую фазу в объеме испаряющегося цинка.

Результаты экспериментов по восстановлению железа из шлаков и термодинамических расчетов паровой газификации железа. Опыты по восстановлению железа из шлаков проводились на пилотной установке «реактор инверсии фаз-трубчатая печь» (рис. 1). В экспериментах использовался отвальный шлак фьюмингования следующего химического состава, %: GeO_2 (0,011 – 0,0115); ZnO (9,5 – 10); PbO (0,1 – 1,15); Cu (0,6 – 1,0); FeO (7–8); Fe_2O_3 (2–3); Fe_3O_4 (23–24); SiO_2 (27–28); CaO (13–14); Al_2O_3 (7–9); S (0,4 – 0,5).

Таблица 3 – Результаты экспериментов

$\alpha_{риф}$	$P_{риф}, \frac{кг}{ч}$	$V_{прг}, \frac{нм^3}{ч}$	$V_{кокс}, \frac{кг}{ч}$	$V_{кисл}, \frac{нм^3}{ч}$	$V_{воз}, \frac{нм^3}{ч}$	$t_{воз}, ^\circ C$	$t_p, ^\circ C$	$W_{эз}, кВт \cdot ч$	$E, \%$	$Q_{пр}, \frac{кДж}{м^3}$	$t_{жар}, ^\circ C$
0,42	1000	300	310-320	430	1400	240	1350-1400	390-400	70	7030	1800-1900
0,4	1050	320	310-320	450	1410	250	1350-1400	400-410	75	7060	1850-1900

Здесь: $\alpha_{\text{риф}}$ - коэффициент расхода окислителя, $P_{\text{риф}}$ – производительность реактора по шлаку, $B_{\text{прг}}$ – расход природного газа в реактор инверсии фаз, $V_{\text{кокс}}$ – расход коксовой пыли в реактор, $V_{\text{кисл}}$ – расход кислорода на процесс, расход дутьевого воздуха, $t_{\text{воз}}$ – температура дутьевого воздуха с воздухоподогревателя, t_p – температура в ванне расплава, $W_{\text{э}}$ – расход электроэнергии, E – степень извлечения металлов, $Q_{\text{гр}}$ – теплота сгорания горючего газа, $t_{\text{жар}}^{\text{гр}}$ – жаропроизводительность горючего газа.

Продуктами процесса является: цинк в возгонах - 100кг/ч; железомедный сплав – 230кг/ч; горючий газ – 430 м³/ч; пар – 1,5т/ч; расплав пригодный для производства строительной продукции – 670кг/ч.

В результате восстановления железа из цинксодержащего шлака силикатная часть расплава содержала в %: FeO (9-11); SiO₂ (40-42); CaO (23-24); Al₂O₃ (12-13), что соответствовала по составу для литья шлаковых камней или продувки шлаковаты.

Удельный приведенный расход условного топлива (углерода) на 1 кг железа: $b_{Fe}^C = \frac{(Q_{\text{прг}} + Q_{\text{кокс}} + Q_{\text{эз}} + Q_{O_2}) - (Q_{Zn} + Q_{\text{гр}} + Q_{\text{пар}} + Q_{\text{распл}}) / \eta_{\text{зам}}}{P_{Fe} \cdot q_{y.t.}}$

Здесь: $Q_{\text{прг}}$, $Q_{\text{кокс}}$, $Q_{\text{эз}}$, Q_{O_2} - теплотворная способность природного газа и кокса, первичная теплота затраченная на производство электроэнергии и кислорода, соответственно; Q_{Zn} , $Q_{\text{гр}}$, $Q_{\text{пар}}$, $Q_{\text{распл}}$ – теплота затраченная на производство цинка, горючего газа, пара, расплава пригодного для выпуска строительной продукции в замещаемых агрегатах. P_{Fe} – производительность плавильного реактора по железу, $q_{y.t.}$ – теплотворная способность условного топлива. При КПД замещаемых агрегатов выпускающих аналогичную продукцию $\eta_{\text{зам}} = 0,85$, $b_{Fe}^C = 3,45$ кгС/кгFe. Тогда удельный приведенный расход железа на 1 кг углерода - $b_{Fe}^{Fe} = \frac{F_f}{B_c} = 3,45$ кгFe/кгС.

Для определения теоретического уровня выработки водорода при газификации углерода водяным паром $C + H_2O = CO + H_2$, при реакции смещения водяного газа $CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$ и при паровой газификации железа $Fe + H_2O = FeO + H_2$ были выведены уравнения и рассчитаны удельные значения водорода для этих реакции. Результаты расчетов представлены на таблице 4.

Таблица 4 – Результаты термодинамических расчетов

№	Выработка водорода		
	на стадии паровой газификации углерода	На стадии реакции смещения водяного газа	на стадии реакции паровой газификации железа
1	$C + H_2O = CO + H_2$ $t = 900^\circ C$	$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$ $t = 600^\circ C$	$H_2O + Fe + H_2O = FeO + H_2$ $t = 500^\circ C$
2	$y = 1,8 \text{ м}^3 \text{ CO} / \text{кгС}$	$q_1 = \frac{0,3926 \text{ м}^3 \text{ H}_2}{\text{м}^3 \text{ CO}}$	$q_3 = \frac{0,33 \text{ м}^3 \text{ H}_2}{\text{кгFe}}$; при $\frac{F_f}{B_c} = \frac{3,45 \text{ кгFe}}{\text{кгС}}$;

3	$q = 1.8\text{м}^3\text{H}_2/\text{кгС}$	$q_2 = 0.71\text{м}^3 \text{H}_2/\text{кг С}$	$q_4 = q_3 * \left(\frac{F_f}{B_c}\right) = 1,138\text{м}^3 \text{H}_2 / \text{кг С}$
4	-----	$\frac{q_2}{q} = \left(\frac{0.71}{1,8}\right) * 100 = 40\%$	$\frac{q_4}{q} = \left(\frac{1,138}{1,8}\right) * 100 = 63\%$
5	Суммарное количество водорода на единицу углерода: $\sum q = q + q_2 + q_4 = 1,8 + 0,71 + 1,138 = 3.64\text{м}^3 \frac{\text{H}_2}{\text{кг С}}$; соотношение продуктов реакции на 1 кг исходного углерода – $\frac{\text{H}_2}{\text{CO}} = \frac{q+q_2+q_4}{y} = \frac{1,8+0,71+1,138}{1,8} = 2,027$.		

Здесь: $\frac{F_f}{B_c}$ - соотношение «железо/углерод» при восстановлении железа в плавильном реакторе.

Таким образом, согласно таблице 4, по отношению к углероду, на стадии реакции смещения водяного газа выработка дополнительного водорода возрастет на 40%, на стадии паровой газификации железа на 63%, а в итоге соотношение $\frac{\text{H}_2}{\text{CO}}$ возрастет в два раза.

Результаты экспериментов по нейтрализации диоксида углерода цинковыми парами. Диоксид углерода может быть отделен от воздуха или дымовых газов с помощью технологий абсорбции, адсорбции, очистки аминами, мембранного газоразделения или газогидратов. (Rhodes, 2008; Werner, 2018; Phelps, 2015; Sumida, 2011; Bryngelsson, 2009). Конечной целью перечисленных технологии является захват CO_2 из газов, транспортировка к месту хранения и долгосрочная изоляция от атмосферы. Однако, при всей важности указанных работ в них не ставится задача утилизации CO_2 с отделением и использованием энергетической составляющей газа – углерода.

Химики из США, при помощи действия на углекислый газ высокоэнергетического ультрафиолетового излучения от пары лазеров, получили молекулярный кислород и атомарный углерод. В ходе эксперимента примерно пять процентов молекул углекислого газа распались на отдельные элементы. Результаты своих исследований авторы опубликовали в журнале Science. Однако, наблюдаемый 5%-ный распад углекислого газа с помощью лазерного излучения не может иметь большое значение для его промышленного применения.

По мнению авторов, одним из путей к решению проблемы может быть использование цинка, как реагента, преобразующего CO_2 , H_2O в CO , H_2 по формуле: $\text{Zn} + \text{CO}_2 = \text{ZnO} + \text{CO}$ и $\text{Zn} + \text{H}_2\text{O} = \text{ZnO} + \text{H}_2$. Выделение углерода из его монооксида может протекать по выражению- $\text{CO} + \text{H}_2 = \text{C} + \text{H}_2\text{O}$.

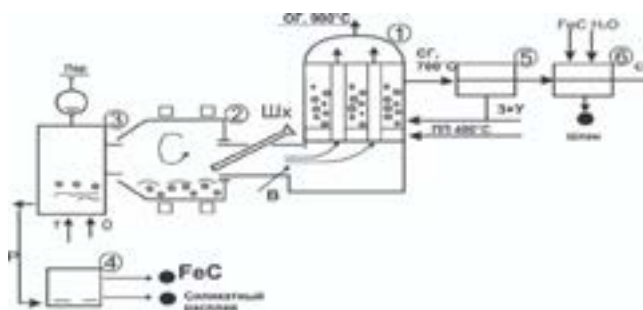
Согласно (Guyjin, 2019), цинк - химически активный металл, обладает выраженными восстановительными свойствами, по активности уступает щелочно-земельным металлам. Реагирует с парами воды при температуре красного каления (550 - 650°C) с образованием оксида цинка и водорода.

Разработка тепловой схемы безотходной переработки Экибастузского угля. Принцип действия системы следующий (см. рис. 2). Процесс непрерывный. Смесь дробленого Экибастузского угля загружается в межтрубное пространство газогенератора 1 (ГГ). Из трубчатой печи 2 горючие газы дожигают воздухом и продукты сгорания проходят через трубы газогенератора 1. Тепло передается через стенки труб в псевдоожиженный слой для поддержания эндотермической газификации угля. Снизу, через решетку, перегретый пар вдувается в слой для обеспечения гидродинамического и аллотермического режимов. Затем газы с ГГ 1 перейдут в сепаратор 5, где отделенная от газов частицы загружаются обратно в газификатор. Газы из сепаратора 5 вместе с порошковым железоуглеродным сплавом вдуваются в скруббер 6 и взаимодействуют с диспергируемой под давлением водой. При этом синтез-газ охлаждается с 700°C до 300°C за счет испарения капель воды. Параллельно протекают экзотермические реакции смещения водяного газа согласно формуле $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ и окисление железа по выражению $\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2$ с выделением дополнительного моля водорода. Образованный трехвалентный железоксид служит катализатором процесса. Синтез газ со скруббера 6, после осушки, направляется в химический завод для отделения водорода или электростанцию в качестве топлива.

Другим продуктом скруббера является шлам, который содержит Fe_2O_3 и возгоны Zn, Ge и Ga. Шлам после шихтования с золой из отвалов, конверторным шлаком и песком в пропорции 1:0,3:0,15 и окатывания, загружается в трубчатую печь 2 (ТП). В ТП окатыши нагреваются горючими газами плавильного реактора 3 и инжeksiруются в реактор. В реакторе окатыши плавятся, Zn, Ga, Ge возгоняются в газовую фазу и из Fe_2O_3 восстанавливается железо. Затем расплав выпускается в электроотстойник 4 где из него отделяется железоуглеродный сплав. Последний после охлаждения и истирания используется как реагент в скруббере 6. Силикатная часть расплава используется для производства строительной продукции, как литые камни/шлаковата/низкокачественный цемент.

Рисунок 3 являются продолжением структурной схемы газификации Экибастузского угля. Конденсированный цинк из установки «электротермический дистиллятор - конденсатор», 7, (см. рис.3), в струе пара вырабатываемого в кессонах РИФ 3, диспергируется в межтрубное пространство воздухоподогревателя (ВЗП), 9 где происходит основные реакций -

$Zn+H_2O=ZnO+H_2$ и $Zn+CO_2=ZnO+CO$, $CO+H_2=C+H_2O$, с выделением атомарного углерода (сажи). Внутри труб ВЗП окислитель обогащенный до 40% кислородом воздух, нагревается и подается в РИФ 3. Газы из камеры 9 состоящие из H_2O , C , ZnO поступает в электрофильтр 10 (ЭФ) для сепарации (C) и возгонов ZnO от газов. Уходящие газы с ЭФ, включающие в себе в основном водяные пары и азот, с остаточным количеством CO_2 выпускаются в атмосферу. Смесь сажи (C) и возгонов (ZnO , Ga_2O_3 , GeO) пеллетизируется и направляется в «дистиллятор» установки 7, основными продуктами которой являются конденсированный цинк и СО-газ содержащий пусьеру, сублиматы Ga_2O_3 и GeO . СО-газ из конденсатора, после очистки от пусьеры, возгонов галлия и германия в рукавных фильтрах 8, направляется в РИФ в качестве дополнительного топлива. Раймовка с дистиллятора, содержащая остаточное количество цинка, также подается в РИФ для переработки.



1 – газогенератор, 2 –трубчатая печь, 3 - реактор инверсии фаз, 4 –электроотстойник, 5 – сепаратор золы, 6 – скруббер, З+У – зола и уголь, Шх – шихта, Р – расплав, FeC – железоуглеродный сплав, Т,О – топливо и окислитель, В - дутьевой воздух, ОГ – отходящие газы

Рисунок 2 – Принципиальная схема агрегата «реактор инверсии фаз-трубчатая печь-газогенератор»

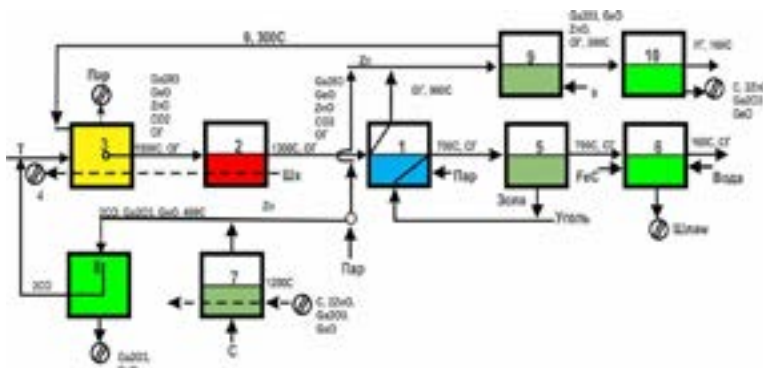


Рисунок 3 – Тепловая схема нейтрализации CO_2 и выработки синтез газа при безотходной переработке Экибастузского угля.

1 – газогенератор, 2 – трубчатая печь, 3 – реактор инверсии фаз, 4 – электроотстойник, 5 – сепаратор золы, 6 – скруббер, 7 – дистиллятор-конденсатор, 8 – рукавный фильтр, 9 – воздухоподогреватель, 10 – электрофильтр, Т – топливо, О – окислитель, Шх – шихта, ГГ – горючий газ, ОГ, УГ – отходящие и уходящие газы, СГ – синтез газ,

Таблица 5 – Тепловой баланс камеры нейтрализации CO₂ (ВЗП)

№	Приход	кДж	%	№	Расход	кДж	%
1	Физическая теплота греющих газов из газогенератора перед ВЗП, CO ₂ учтен отдельно	(21325м3ОГ-2240 CO ₂ =19085*1,29*900= 22 157 685	7,15	1	Эндотермический эффект реакции 2Zn+CO ₂ =ZnO+C-383 402кдж	13000*2949= 38 337 000	12,59
2	Физическая теплота CO ₂	2240*2,19*900 = 4 415 040	1,42	2	Физическая теплота пара	1800кг*2681= 4 825 800	1,58
3	Физическая теплота пара	1800кг *2681= 4 825 800	1,56	3	Физическая и химическая теплота углерода	1200кг *1,5*300+1200*29330= 35 736 000	11,74
4	Физическая теплота цинка	13000*25,14*850=277797 000	89,68	4	Физическая теплота ZnO	16200кг*40,3*300= 195858000	64,33
5	Физическая теплота дутьевого воздуха перед камерой нейтрализации CO ₂	21325*1,3*20= 554 450	0,18	5	Физическая теплота уходящих газов с камеры нейтрализации CO ₂ (CO ₂ нейтрализован)	19085*1,42*300=8 130 210	2,67
	Невязка баланса 1,71%			6	Физическая теплота нагретого дутьевого воздуха за камерой нейтрализации CO ₂	21325*1,37*300=8 764 575	2,88
				Потери тепла в окружающую среду	12 802 269	4,2	
5	Итого:	309 749 975	100		Итого:	304 453 854	

Результаты укрупненных расчетов себестоимости выработки сингаза и срока окупаемости нейтрализации CO₂ при безотходной переработке экибастузского угля

Таблица 6 – Результаты расчетов стоимости выпускаемой продукции

	Наименование товаров/цена на рынке	Концентрация металлов в золе	Степень извлечения металлов,%	Количество производимой продукции, на одну тонну золошлаков	Количество продукции	Цена един. продукции в возгонах, \$/тг, в РК	Стоимость, тг/ч	Доля продукции, %
1	Цинк/ \$2610/ т	4%	70	0,028 т/т	0,56 т/ч	870\$/т/ 365400 тг/т	204624	
2	Свинец/ \$1950/ т	0,9%	100	0,009 т/т	0,18 т/ч	650\$/т /273000тг/т	49140	
3	Кадмий/ \$1530/ т	0,028%	70	0,0003т/т	0,006 т/ч	510\$/т /214200тг/т	1285	
4	Германий/ \$1350/ кг	0,1 кг/т	70	0,07 кг/ т	1,4кг/ч	450\$/кг/ 189000тг/кг	264600	

5	Галлий/\$205/ кг	0,1 кг/т	70	0,07 кг/ т	1,4кг/ч	68\$/кг /28560 тт/кг	39984	
6	Золото/\$84/ г	0,8 гр/т	70	0,56 гр/т	11,2 гр/ч	58\$/гр /24360 тт/гр	272832	
7	Камнелитье, \$300/ т	-	-	-	25т/ч(с учетом потерь 13%)	27\$/т /11340 тг/т	283500	
8	Синтез газ обогащенный водородом, \$0,23/ нм³СГ	-	-	-	6450м³/ч	\$0,0167/ нм³СГ/7тг/ м³	45150	
9	СО ₂ - в газах	-	-	-	4,4т	\$200/84000 тг/нм³	369000	
10	С(углерод элементный)	-	-	-	1,2т	70 0007тг/т	84000	
11	Цена продукции $\Pi_{np} = 1\ 614\ 115\ \text{тг/ч}$ $\Pi_{np} = S_{Zn} + S_{Pb} + S_{Cd} + S_{Ge} + S_{Ga} + S_{Au} + S_{Kam} +$ $S_{CG} = 204624 + 49140 + 1285 + 264600 + 39984 + 272832 + 283500 +$ $45150 + 369000 + 84000 = 1\ 614\ 115\ \text{тг/ч}$						1 614 115	100
12	Цена продукции $\Pi_{np} = (1\ 614\ 115\ \text{тг/ч}) * 7200\ \text{ч/год} = 11\ 621\ 628\ 000\ \text{тенге/год}$							

Цена продукции $\Pi_{np} = S_{Zn}(204624) + S_{Pb}(49140) + S_{Cd}(1285) + S_{Ge}(264600) + S_{Ga}(39984) + S_{Au}(272832) + S_{Kam}(283500) + S_{CG}(45150) + S_{CO2}(369000) + S_C(84000) = 1614115\ \text{тг/ч}$; так как извлечение золота и галлия из золошлаков экспериментально не апробировано, то при $S_{Ga}(39984)=0$, $S_{Au}(272832)=0$ и $S_{CG}(45150)=0$, $\Pi_{np}=1\ 256\ 149\ \text{тг/ч}$. Тогда с учетом произведенной в системе дополнительной продукции себестоимость сингаза будет $C_{сг} = \frac{C_{сп} (1\ 288\ 694) - \Pi_{пр}(1\ 256\ 149)}{V_{сг}(6450)} = 5\ \text{тг/м}^3$, что $\sim 35\%$ ниже чем эквивалентной стоимости природного газа ($8\ \text{тг/м}^3$). Здесь $C_{сп} = \frac{9\ 278\ 596\ 800\ \text{тг}}{7200\ \text{ч/год}} = (1\ 288\ 694\ \text{тг/ч})$; $V_{сг} = 6450\ \text{м}^3\ \text{тг/ч}$ – производительность установки по синтез газу.

Таблица 7 – Результаты расчетов срока окупаемости инвестиции (при цене камнелитых плит \$54/22680тг)

Цена удаления CO ₂ , (\$/ тг)/т	При извлечении золота		При отсутствии извлечения золота	
	Цена продукции Ц _{пр} , тенге	Срок окупаемости τ, лет	Цена продукции Ц _{пр} , тенге	Срок окупаемости τ, лет
550/231000	18 324 108 000	1,54	16 359 717 600	1,96
200/84000	13 662 828 000	3,17	11 097 957 600	7,6
100/42000	12 336 588 000	4,45	10 372 197 600	12,7

Здесь: срок окупаемости $\tau = \frac{K}{(C_{пр} - C_{сп}) * 0,8}$; капитальные затраты - $K = 11\ 132\ 720\ 000\ \text{тг}$; себестоимость продукции - $C_{пр} = (9\ 278\ 596\ 800\ \frac{\text{тг}}{\text{год}})$; $\Pi_{np} = \text{var.}$ Цена камнелитых плит (\$54/22680тг)/т

Выводы. 1. По результатам экспериментов по возгонке германия из цинксодержащих шлаков сделано предположение о возможности образования интерметаллида «цинк-золото» и извлечения тонкодисперсного золота в газовую фазу в объеме испаряющегося цинка.

2. Проведен эксперимент по восстановлению железа из шлаков; термодинамический расчет паровой газификации углерода с железом показывает, что на стадии реакции смещения водяного газа выработка дополнительного водорода возрастет на 40%, на стадии паровой газификации железа на 63%, а в итоге соотношение $\frac{H_2}{CO}$ возрастет в два раза.

3. Проведенные расчеты тепловой схемы показали: себестоимость синтез газа с учетом произведенной в системе дополнительной продукции будет 5тг/м³, что ~ на 35% ниже чем эквивалентной стоимости природного газа 8тг/м³ ($\frac{11000 \text{кДж/м}^3}{35000 \text{кДж/м}^3} * 26 \text{тг/м}^3 \approx 8 \text{тг/м}^3$) в случае извлечения золота из расплава, во всем диапазоне изменения цен на удаление CO₂, срок окупаемости системы не превышает 4-5 лет; в случае отсутствия извлечения золота, при цене нейтрализации CO₂ (\$200/84000 тг)/т со сроком окупаемости 7,6 лет, вложение инвестиции находится близко к зоне экономической целесообразности.

Information about the authors:

Dikhanbaev, Arystan Bayandievich – Almaty University of Power Engineering and Telecommunication, Almaty, Kazakhstan, PhD, Senior Lecturer of the Institute of Heat Power Engineering and Control Systems, email: arystan.d74@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6602-4230>, Scopus Author ID: 57200112889;

Dikhanbaev, Bayandy Ibrahimovich – Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, Kazakhstan, Associated Professor of the Department of Heat Power Engineering, email: otrar_kz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2666-5484>, Scopus Author ID: 57200109144, Web of Science ResearcherID: AAS-8832-2020;

Sultan Ybray Barlymbayuly – D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, Doctoral student School of Traditional and Alternative Energy, email: sultanybray@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-5262-2149> Scopus Author ID: 57202946965 Web of Science ResearcherID: ABB-1483-2021;

Bekisheva Zhanna Taukenovna – Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, Kazakhstan. Senior lecturer of the Department of Heat Power Engineering, email: zhanna_1986_23@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9224-2426>.

ЛИТЕРАТУРА

Александрова Т.Н., Кусков В.Б. Разработка методов повышения эффективности гравитационного извлечения мелкого и тонкого золота из россыпей различного генезиса. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». Санкт-Петербург. 2014. С. 69-76.

Блайда И.А., Слюсаренко Л.И., Абишева З. Золошлаковые отходы энергетики — сырье для производства редких металлов и глинозема. // Комплексное использование минерального сырья. - № 4. - 2008. - С. 39-51.

Борбат В.Ф., Михайлов Ю.Л., Адеева Л.Н., Голованова О.А. Гидрощелочное извлечение галлия из золы уноса экибастузских углей // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2000. - Т. 43. № 1. С. 102–105.

Диханбаев Б.И., Диханбаев А.Б. К вопросу минимизации выбросов диоксида углерода в атмосферу при переработке техногенных отходов // Комплексное Использование Минерального Сырья. №3 (314), 2020 ISSN-L 2616-6445, ISSN 2224-5243. Алматы, 2020. – С.40-49.

Кошумбаев М.Б. Переработка промышленных и бытовых отходов. Учебное пособие. – Астана. 2018. 270с.

Михайлов Юрий Леонидович. Физико-химические исследования процессов выщелачивания микрокомпонентов золы от сжигания углей Экибастузского бассейна// Автореферат диссертации на соискание степени кандидата химических наук. - 2008. – Омск. 29с.

Окунев А.И., Костяновский И.А., Донченко П.А. Фьюминговое шлаков. М.-Металлургия. 1966. – 259с.

Перегудов В.В. Методика поисков месторождений золота в корях выветривания и россыпей в осадочных отложениях по тонкому пылевидному золоту // Природные и техногенные россыпи и месторождения кор выветривания на рубеже тысячелетий. Москва, 2000. С. 281.

Хамзин В.С., Байдалинов А.Т. О расширении сфер использования минерального сырья. //Геология и охрана недр. Алматы. № 2. 2003. С. 63–65. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890414004415> - cor1.

Bryngelsson M. & Westermark M. (2009). CO2 capture pilot test at a pressurized coal fired CHP plant. Energy Procedia, 1(1), 1403–1410. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2009.01.184>.

Dikhanbaev B., Chandima G. Dikhanbaev A., Energy-saving method for technogenic waste processing// Journal PLoS ONE 12(12):e0187790. IF – 3.54. - San Francisco, California, USA. 2017. – December 27, – P.1-16.<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187790>.

Dikhanbaev B., Chandima G. Dikhanbaev A., Energy Efficient System for Galena Concentrate Processing// IEEEAccess, Volume 7, 2019. New Jersey, USA. PP. 23388-23395 Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2019.2895591.

Dikhanbaev B., Dikhanbaev A.B., Sultan I. & Rusowicz A.: Development of hydrogen-enriched water gas production technology by processing Ekibastuz coal with technogenic waste. Archive of Mechanical Engineering, LXV(2), 2018, 221–231. <http://doi.org/10.24425/12302>.

Dikhanbaev B., Chandima G. Dikhanbaev A. Design and implementation of an energy-saving melting reactor/ International journal Case Studies in Thermal Engineering.-London, August 2021, Vol.26, 101003. -journal homepage: www.elsevier.com/locate/csite.

Koizhanova A.K., Osipovskaya L.L., and Erdenova M.B.: Study of precious metals extraction recovery from technogenic wastes. 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference - SGEM2012, vol. 1, pages 843–846, June 2012.

Liangyong Chen, Fang Liu, Nikolic Heather S, Zhen Fan, Kunlei Liu. Coal char-fueled

chemical looping combustion use different ironbased oxygen carriers * Center for Applied Energy Research, University of Kentucky, 2540 Research Park Drive, Lexington, KY 40511-8410, United States – pp. 73-79.

Long K.R., DeYoung J.H. Jr., and S. Ludington. Significant deposits of gold, silver, copper, lead, and zinc in the United States/Economic Geology. Vol.95, issue 3, pp.629 - -644. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70022329> (In English).

Handbook of fluidization and fluid-particle systems edited by wen-ching yang siemens westinghouse power corporation pittsburgh, pennsylvania, u.s.a. marcel dekker, inc. new york • basel 2003.

Outokumpu HSC Chemistry for Windows. Chemical Reaction and Equilibrium Software with Extensive Thermochemical Database. Version 5.1. October 31, 2002.

Phelps J.J.C., Blackford J.C., Holt J.T. & Polton J.A. (2015). Modelling large-scale CO₂ leakages in the North Sea. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 38, 210–220. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2014.10.013>.

Raquel Echeverría, José M. López-de-Luzuriaga, Miguel Monge, and M. Elena Olmos. The gold(i)–lead(ii) interaction: a relativistic connection† *Chem Sci*. 2015 Mar 1; 6(3): 2022–2026. doi: 10.1039/c4sc03680h (In English).

Rhodes J.S. & Keith D.W. (2008). Biomass with capture: negative emissions within social and environmental constraints: an editorial comment. *Climatic Change*, 87(3-4), 321–328. <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9387-4>.

Sumida K., Rogow D.L., Mason J.A., McDonald T.M., Bloch E.D., Herm Z.R., Long J.R. (2011). Carbon Dioxide Capture in Metal–Organic Frameworks. *Chemical Reviews*, 112(2), 724–781. <https://doi.org/10.1021/cr2003272>.

Gyujin Song, Jun Young Cheong, Chanhoon Kim and J. Ryu, et al. Atomic-scale combination of germanium-zinc nanofibers for structural and electrochemical evolution/Nature Communications volume 10, no. 1. Article number: 2364 (2019). Doi:10.1038/s41467-019-10305-x.

Viladevall M., Pacheco J.A. and Cadena J. L. Sand and gravel plants as potential sources of gold production in the European Union /Applied Earth Science IMM Transactions section B. 2013. №115(3):pp.94-102. Published online. DOI:10.1179/174327506X138913.

Wang X., Wang N., Zhao J., Wang L., Thermodynamic analysis of propane dry and steam reforming for synthesis gas or hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, 662 P.P. Silva, R.A. Ferreira, J.F. Nunes, J.A. Sousa, L.L. Romanielo, F.B. Noronha and C.E. Hori *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 12800-12807 (2010).

Werner C., Schmidt H.P., Gerten D., Lucht W. & Kammann C. (2018). Biogeochemical potential of biomass pyrolysis systems for limiting global warming to 1.5 °C. *Environmental Research Letters*, 13(4), 044036. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabb0e>.

Zhu X., Wang H., Wei Y., Li K., Cheng X., Hydrogen and syngas production from two-step steam reforming of methane over CeO₂-Fe₂O₃ oxygen carrier. *Journal of Rare Earths*, 28, 907-924 (2010).

REFERENCES:

Alexandrova T.N., Kuskov V.B. Development of methods to improve the efficiency of gravitational extraction of fine and fine gold from placers of various genesis. National Mineral Resources University «Gorny». Saint Petersburg, 2014. pp. 69-76.

Blaida I.A., Slyusarenko L.I., Abisheva Z. Ash and slag waste of energy is a raw material for the production of rare metals and alumina. // Complex use of mineral raw materials. - No. 4. - 2008. - pp. 39-51.

Borbat V.F., Mikhailov Yu.L., Adeeva L.N., Golovanova O.A. Hydro-alkaline extraction of gallium from fly ash of Ekibastuz coals // *Izv. vuzov. Chemistry and chemical technology*. 2000. - Vol. 43. - No. 1. - pp. 102-105.

Dikhanbayev B.I., Dikhanbayev A.B. On the issue of minimizing carbon dioxide emissions into the atmosphere during the processing of man-made waste // *Complex Use Of Mineral Raw Materials*. No.3 (314), NUMBER ISSN-L 2020 2616-6445 And ISSN 2224-5243. Almaty, 2020. – pp.40-49.

Koshumbaev M.B. Processing of industrial and household waste. Study guide. – Astana. 2018. 270s.

Mikhailov Yuri Leonidovich. Physico-chemical studies of the processes of leaching of micro-components of ash from the burning of coals of the Ekibastuz basin// Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Chemical Sciences. - 2008. – Omsk. 29c.

Okunev A.I., Kostyanovsky I.A., Donchenko P.A. Slag fusing. M.-Metallurgy. 1966. – 259s.

Peregudov V.V. Method of searching for gold deposits in weathering crusts and placers in sedimentary deposits by fine pulverized gold // *Natural and technogenic placers and deposits of weathering crusts at the turn of the millennium*. Moscow, 2000. p. 281.

Khamzin V.S., Baidalinov A.T. On the expansion of the use of mineral raw materials. // *Geology and protection of mineral resources*. Almaty. No. 2. 2003. pp. 63-65.

Bringelsson M., and Westermarck M. (2009). Pilot test of CO₂ capture at a coal-fired thermal power plant operating under pressure. *Energy Procedure*, 1(1), 1403-1410. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2009.01.184> .

Dikhanbayev B., Chandima G. Dikhanbayeva., Energy-saving method of processing technogenic waste // *Journal PLoS ONE* 12(12): e0187790. IF - 3.54. - San Francisco, California, USA. 2017. – December 27, – pp.1-16.<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187790>.

Dikhanbayev B., Chandima G. Dikhanbayeva., Energy-efficient system for processing galena concentrate // *IEEEAccess*, Volume 7, 2019. New Jersey, USA. Pages 23388-23395 digital object ID 10.1109/ACCESS.2019.2895591.

Dikhanbayev B., Dikhanbayev A.B., Sultan I. and Rusovich A.: Development of technology for obtaining hydrogen-enriched water gas by processing Ekibastuz coal with man-made waste. *Archive of Mechanical Engineering*, LXV(2), 2018, 221-231. <http://doi.org/10.24425/12302> .

Dikhanbayev B., Chandima G. Dikhanbayeva. Design and implementation of an energy-saving melting reactor/ *International Journal Case Studies in Thermal Engineering*.- London, August 2021, Volume 26, 101003. - Home page of the magazine: www.elsevier.com/locate/csite.

Koizhanova A.K., Osipovskaya L.L., Erdenova M.B.: Investigation of extraction of precious metals from technogenic waste. 12th International Interdisciplinary Scientific Geoconference - SGEM2012, Volume 1, pages 843-846, June 2012.

Liangen Chen, Fang Liu, Nikolic Heather S, Zhen Fan, Kunlei Liu. Various iron-based oxygen carriers are used in the chemical cyclic combustion of coal on coal fuel * Center for Applied Energy Research, University of Kentucky, 2540 Research Park Drive, Lexington, KY 40511-8410, USA - pp. 73-79.

Long K.R., Deyong J.H. Jr. and S. Ludington. Significant deposits of gold, silver, copper, lead and zinc in the United States/Economic geology. Volume 95, issue 3, pp.629 - -644. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70022329> (In English).

Handbook of Fluidization and Liquid Particle Systems edited by Wen-Ching Yang siemens Westinghouse Power Corporation Pittsburgh, Pennsylvania, USA. a. marcel dekker, inc. New York • Basel 2003.

Outokumpu HSC Chemistry for Windows. Software for chemical reactions and equilibrium with an extensive thermochemical database. Version 5.1. October 31, 2002.

Phelps J.J.C., Blackford J.C., Holt J.T. and Polton J.A. (2015). Simulation of large-scale CO₂ leaks in the North Sea. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 38, 210-220. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2014.10.013> .

Raquel Echeverria, Jose M. Lopez de Lucuriaga, Miguel Monge and M. Elena Olmos. Interaction of gold(I)··· Lead(II): Relativistic coupling† *Chem Sci*. 2015 Mar 1; 6(3):2022-2026. doi: 10.1039/c4sc03680h (In English).

Rhodes J.S. & Keith D.W. (2008). Biomass with capture: negative emissions within social and environmental constraints: editorial comment. *Climate Change*, 87(3-4), 321-328. <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9387-4> .

Sumida K., Rogou D.L., Mason J.A., MacDonald T.M., Bloch E.D., Herm Z.R., ... Long J.R. (2011). Carbon dioxide capture in organometallic frameworks. *Chemical Reviews*, 112(2), 724-781. <https://doi.org/10.1021/cr2003272> .

Gyujin Song, Jung Yong Chong, Changhun Kim and Jay Ryu, etc. Combination of germanium-zinc nanofibers on an atomic scale for structural and electrochemical evolution / *Nature Communications* Volume 10, No. 1. Article number: 2364 (2019). Doi:10.1038/s41467-019-10305- x.

Viladevall M., Pacheco J.A.I. Kadena J.L. Sand and gravel mills as potential sources of gold mining in the European Union /*Applied Earth Science IMM Transactions section B*. 2013. No.115(3): pp. 94-102. Published on the Internet. DOI:10.1179/174327506X138913.

Wang H., Wang N., Zhao J., Wang L., Thermodynamic analysis of dry and steam reforming of propane to produce synthesis gas or hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, 662 P.P. Silva, R.A. Ferreira, J.F. Nunez, J.A. Souza, L.L. Romanielo, F.B. Noronha and K.E. Hori *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 12800-12807 (2010).

Werner S., Schmidt H.P., Gerten D., Lucht V. & Kammann S. (2018). Biogeochemical potential of biomass pyrolysis systems to limit global warming to 1.5°C. *Letters on Environmental Research*, 13 (4), 044036. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabb0e> .

Zhu H., Wang H., Wei Yu., Li K., Cheng H., Production of hydrogen and synthesis gas as a result of two-stage steam reforming of methane on an oxygen carrier CeO₂-Fe₂O₃. *Journal of Rare Earths*, 28, 907- 924 (2010).

ПАМЯТИ УЧЕНЫХ



ПАМЯТИ ЛЕПЕСОВА КАМБАРА КАЗЫМОВИЧА

Безвременно ушел из жизни известный ученый-электрохимик, кандидат химических наук, профессор Лепесов Камбар Казымович. Большая часть его научной деятельности прошла в стенах Института органического катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского.

Камбар Казымович родился в 1947 г. в Актюбинской области. В 1971 г., после окончания инженерно-физико-химического факультета Московского химико-технологического института им. Д.И. Менделеева, поступил в аспирантуру Института органического катализа и электрохимии АН КазССР по специальности «теоретическая электрохимия». В 1975 г. защитил кандидатскую диссертацию по теме «Исследование кинетики и механизма ионизации висмута, меди и индия на вращающемся дисковом электроде с кольцом». С 1974 по 1987 г.г. работал в ИОКЭ АН КазССР в должности младшего, затем старшего научного сотрудника. С 1987 по 2007 г.г. – заведующий лабораторией защиты металлов от коррозии ИОКЭ им. Д.В. Сокольского (в 2001 г. переименована в лабораторию прикладной электрохимии и коррозии).

Результаты исследований К.К. Лепесова в области электрохимии металлов, полученные методом дискового электрода с кольцом, классической и

нестационарной вольтамперметрии, позволили выявить основные закономерности образования промежуточных продуктов – ионов металлов низшей валентности в процессах разряда-ионизации поливалентных металлов и установить протекание стадийных электродных реакций с участием ионов металлов промежуточной и необычной валентности в химических реакциях диспропорционирования и репропорционирования, комплексообразования в зависимости от природы металла и анионов раствора, активности воды в электролите.

Им впервые было показано и обосновано применение метода дискового электрода с кольцом для исследования комплексообразования ионов металлов промежуточной и высшей валентности в растворах.

К.К. Лепесов являлся высококвалифицированным специалистом в области исследования кинетики и механизма электрохимических и коррозионных процессов металлов и разработки методов защиты от коррозии. Он был ответственным исполнителем программы «Разработать композиционные ферритные антикоррозионные материалы на основе продукции и вторичных ресурсов предприятий Казахстана» 2003-2005 г.г., инновационной программы «Организация опытного производства импорт-замещающих средств электрохимической защиты стальных конструкций от коррозии» 2003-2005 г.г., ряда хоздоговорных работ по коррозии.

По результатам исследований разработаны антикоррозионные составы лакокрасочных материалов с различными добавками, повышающие коррозионную стойкость покрытий в водно-солевых и кислых средах, которые нашли применение при защите водоводов в различных регионах.

Лепесов К.К. – автор более 300 научных публикаций, 1 монографии и 28 патентов на изобретения. Среди его учеников 8 кандидатов наук и 1 PhD.

Прирожденный талант исследователя в сочетании с неисчерпаемой творческой энергией и глубокой эрудицией определили его большой вклад в развитие химической науки.

Он всегда останется для нас талантливым ученым, мудрым учителем и хорошим другом.

Коллектив АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» выражает глубокое соболезнование родным и близким.

СОДЕРЖАНИЕ

Г.С. Айдарханова, К.С. Избастина, Ж.М. Кожина, Д.Т. Садырбеков ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСТАВА ЭФИРНЫХ МАСЕЛ В ХВОЕ <i>PINUS SYLVESTRIS</i> L. НА ТЕРРИТОРИИ ГНПП «БУРАБАЙ» И г. НУР-СУЛТАН.....	6
Б.А, Аскапова, Ш. Барани, Б.М. Жакып, К.Б, Мусабеков УСТОЙЧИВОСТЬ ГИДРОСУСПЕНЗИИ КОМПОЗИТОВ МАГНИТНЫХ ГЛИН В ПРИСУТСТВИИ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРОВ.....	22
Т.С. Байжуманова, М. Жұмабек, Н.С. Таласбаева, М.К. Еркибаева, А.О. Айдарова КАТАЛИТИЧЕСКАЯ КОНВЕРСИЯ БИОГАЗА В СИНТЕЗ-ГАЗ.....	32
Г.Т. Балыкбаева, Г.У. Ильясова, К.Х. Дармаганбет, Г.М. Абызбекова, Ш.О. Еспенбетова СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН.....	43
Р.Р. Бейсенова, Р.М. Тазитдинова, А.О. Жупышева, Р. Курбаналиев, А.Н. Оркеева ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИСТОЧНИКОВ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ СЕЛЬСКИХ МЕСТНОСТЕЙ ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ.....	53
Н.И. Бердикул, К. Акмалайулы, И.И. Пундиене ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БЕТОНА К СУЛЬФАТНОЙ КОРРОЗИИ.....	63
А.Б. Диханбаев, Б.И. Диханбаев, С.Б. Ыбрай, Ж.Т. Бекишева РАЗРАБОТКА БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТВАЛОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ПОЛНОЙ ДЕКАРБОНИЗАЦИЕЙ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ.....	74
А.А. Досмаканбетова, З.А. Ибрагимова, Ж.К. Шуханова, С.М. Конысбеков, Д.К. Жумадуллаев РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА ДВУОКСИ КРЕМНИЯ.....	93
А.М. Кожяхметова, К.Т. Жантасов, О. Б. Дормешкин, Б.К. Асилбекова, Г.Т. Жаманбалаева ПОЛУЧЕНИЕ ТУКОСМЕСИ НА ОСНОВЕ ДОЛОМОТИЗИРОВАННОГО КРЕМНИСТО - ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ И ОТХОДОВ ТЭЦ.....	103

З.М. Мулдахметов, С.Д. Фазылов, А.М. Газалиев, О.А. Нуркенов, О.Т. Сейлханов СИНТЕЗ НОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВКЛЮЧЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ ЦИТИЗИН:β-ЦИКЛОДЕКСТРИН.....	112
Б.М. Насибуллин, Р.Б. Ахметкалиев, Р.О. Орынбасар, Н.Б. Жаксылык ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЭМУЛЬСАЦИИ ОБВОДНЕННОЙ НЕФТИ.....	121
П.В. Панченко, Д.С. Пузикова, Г.М. Хусурова, К.А. Леонтьева ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ДИОКСИДА ТИТАНА.....	130
Н.Ж. Тотенова, Б.К. Масалимова, В.А. Садыков, Г.К. Матниязова СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ, ТЕКСТУРНЫХ, МОРФОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫХ ФЕРРИТОВ ДЛЯ ПАРОВОГО РИФОРМИНГА ЭТАНОЛА.....	148
К.А. Уразов, А.К. Рахимова, С. Айт ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ ПЛЕНОК CZTS НА СЛОЙ ПРОВОДЯЩЕГО ПОЛИМЕРА.....	159
А.У.Шингисов, Р.С. Алибеков, С.У. Еркебаева, Э.У. Майлыбаева, М.С. Кадеева ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИФЕНОЛОВ В РАЗЛИЧНЫХ СОРТАХ ЯБЛОК КАЗАХСТАНСКОЙ СЕЛЕКЦИИ.....	169
М.А. Якияева, А.Г. Сагынова, М.Е. Ержанова РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ НАЦИОНАЛЬНОГО КРУПЯНОГО ПРОДУКТА (ТАЛКАН) ВЫСОКОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ И ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ.....	180

ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

ЛЕПЕСОВА КАМБАР КАЗЫМОВИЧ.....	193
---------------------------------------	-----

МАЗМҰНЫ

Г.С. Айдарханова, К.С. Избастина, Ж.М. Кожина, Д.Т. Садырбеков «БУРАБАЙ» МҰТП ЖӘНЕ НҰР-СҰЛТАН ҚАЛАСЫ АЙМАҚТАРЫНДАҒЫ PINUS SYLVESTRIS L. ҚЫЛҚАНДАРЫ ЭФИР МАЙЫ ҚҰРАМЫНЫҢ ӨЗГЕРМЕЛІЛІГІ.....	6
Б.А. Аскапова, Ш. Барани, Б.М. Жакып, К.Б. Мусабеков СУДА ЕРИТІН ПОЛИМЕРЛЕРДІҢ ҚАТЫСУЫМЕН МАГНИТТІК САЗ КОМПОЗИТТЕРІНІҢ ГИДРОСУСПЕНЗИЯСЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ.....	22
Т.С. Байжуманова, М. Жұмабек, Н.С. Таласбаева, М.К. Еркибаева, А.О. Айдарова БИОГАЗДЫ СИНТЕЗ-ГАЗҒА КАТАЛИТИКАЛЫҚ КОНВЕРСИЯЛАУ.....	32
Г.Т. Балықбаева, Г.У. Ильясова, К.Х. Дармаганбет, Г.М. Абызбекова, Ш.О. Еспенбетова СУДЫ АУЫР МЕТАЛЛ ИОНДАРЫНАН СОРБЦИЯЛЫҚ ТАЗАЛАУДА БЕНТОНИТ САЗЫН ПАЙДАЛАНУ.....	43
Р.Р. Бейсенова, Р.М. Тазитдинова, А.О. Жұпышева, Р. Курбаналиев, А.Н. Оркеева ПАВЛОДАР ОБЛЫСЫНЫҢ АУЫЛДЫҚ АУЫЗ СУ КӨЗДЕРІНІҢ САПАСЫН ЭКОЛОГИЯЛЫҚ БАҒАЛАУ.....	53
Н.И. Бердікүл, К. Ақмалайұлы, И.И. Пундиене БЕТОННЫҢ СУЛЬФАТТЫ КОРРОЗИЯҒА ТӨЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУ.....	63
А.Б. Диханбаев, Б.И. Диханбаев, С.Б. Ыбрай, Ж.Т. Бекишева ШЫҒАТЫН ГАЗДАРДЫ ТОЛЫҚ ДЕКАРБОНИЗАЦИЯЛАУ АРҚЫЛЫ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ КҮЛ ҮЙІНДІЛЕРІН ҚАЙТА ӨНДЕУДІҢ ҚАЛДЫҚСЫЗ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӨЗІРЛЕУ.....	74
А.А. Досмақанбетова, З.А. Ибрагимова, Ж.К. Шуханова, С.М. Конысбеков, Д.К. Жумадуллаев КРЕМНИЙ ДИОКСИДІНІҢ ҰСАҚДИСПЕРСТІ ҰНТАҒЫН АЛУ ӨДІСІН ӨЗІРЛЕУ.....	93
А.М. Қожахметова, Қ.Т. Жантасов, О.Б.Дормешкин, Б.К. Әсілбекова, Г.Т. Жаманбалаева ЖЭО ҚАЛДЫҚТАРЫ МЕН ДОЛОМИТТЕЛГЕН ФОСФАТТЫ-КРЕМНИЙЛІ ШИКІЗАТ НЕГІЗІНДЕ ТУОҚОСПА АЛУ.....	103

З.М. Молдахметов, С.Д. Фазылов, А.М. Ғазалиев, О.А. Нүркенов, О.Т. Сейлханов ЦИТИЗИН-β-ЦИКЛОДЕКСТРИН КЕШЕҢІНІҢ ЖАҢА ҚОСЫЛЫСТАРЫНЫҢ СИНТЕЗІ.....	112
Б.М. Насибуллин, Р.Б. Ахметқалиев, Р.О. Орынбасар, Н.Б. Жақсылық СУЛАНДЫРЫЛҒАН МҰНАЙДЫҢ ДЕЭМУЛЬСАЦИЯСЫН ЗЕРТТЕУ.....	121
П.В. Панченко, Д.С. Пузикова, Г.М. Хусурова, К.А. Леонтьева ТИТАН ДИОКСИДІН АЛУДЫҢ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ӘДІСІ.....	130
Н.Ж. Төтеннова, Б.К. Масалимова, В.А. Садықов, Г.К. Матниязова ЭТАНОЛДЫҢ БУ АЙНАЛЫМЫНА ҚАЖЕТТІ ПЕРОВСКИТ ҚҰРЫЛЫМДЫ ФЕРРИТТЕР НЕГІЗІНДЕГІ КАТАЛИЗАТОРЛАРДЫ СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ, ТЕКСТУРАЛЫҚ, МОРФОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	148
К.А. Уразов, А.К. Рахимова, С. Айт ӨТКІЗГІШ ПОЛИМЕР ҚАБАТЫНА CZTS ҚАБЫҒЫН ЭЛЕКТРОТҰНДЫРУ.....	159
А.У. Шингисов, Р.С. Алибеков, С.У. Еркебаева, Э.У. Майлыбаева, М.С. Кадеева ҚАЗАҚСТАНДЫҚ СЕЛЕКЦИЯСЫ АЛМАЛАРЫНЫҢ ӘР ТҮРЛІ СОҢТАРЫНДАҒЫ ПОЛИФЕНОЛДАРДЫҢ ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ.....	169
М.А. Якияева, А.Ғ. Сағынова, М.Е. Ержанова ТАҒАМДЫҚ ҚҰНДЫЛЫҒЫ ЖОҒАРЫ ҰЛТТЫҚ ДӘНДІ ДАҚЫЛДЫҢ (ТАЛҚАН) ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖАСАУ ЖӘНЕ ҚАУІПСІЗДІГІН ЗЕРТТЕУ.....	180

ҒАЛЫМДЫ ЕСКЕ АЛУ

ЛЕПЕСОВ ҚАМБАР ҚАСЫМҰЛЫ.....	193
-------------------------------------	-----

CONTENTS

G.S. Aidarkhanova, K.S. Izbastina, Z.M. Kozhina, D.T. Sadyrbekov VARIABILITY OF ESSENTIAL OILS COMPOSITION IN PINUS SYLVESTRIS L. NEEDLES IN THE TERRITORIES OF SNNP "BURABAY" AND NUR-SULTAN CITY.....	6
B.A. Askapova, S. Barany, B.M. Zhakyp, K.B. Musabekov STABILITY OF MAGNETIC CLAY COMPOSITE HYDRO-SUSPENSION IN PRESENCE OF WATER-SOLUBLE POLYMERS.....	22
T.S. Baizhumanova, M. Zhumabek, N.S. Talasbayeva, M.K. Erkibaeva, A.O. Aidarova CATALYTIC CONVERSION OF BIOGAS TO SYNTHESIS GAS.....	32
G.T. Balykbayeva, G.U. Iliasova, K.X. Darmaganbet, G.M. Abyzbekova, Sh.O. Yespenbetova SORPTION WATER PURIFICATION FROM HEAVY METAL IONS USING BENTONITE CLAY.....	43
R.R. Beisenova, R.M. Tazitdinova, A.O. Zhupysheva, R. Kurbanaliev, A.N. Orkeeva ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE QUALITY OF FRESH WATER SOURCES OF RURAL AREAS OF PAVLODAR REGION.....	53
N.I. Berdikul, K. Akmalaiuly, I.I. Pundiene INCREASING THE RESISTANCE OF CONCRETE AGAINST SULFATE CORROSION.....	63
A.B. Dikhanbayev, B.I. Dikhanbayev, S.B. Ybray, Zh.T. Bekisheva DEVELOPMENT OF WASTE-FREE TECHNOLOGY FOR PROCESSING ASH DUMPS OF POWER PLANTS WITH COMPLETE DECARBONIZATION OF EXHAUST GASES.....	74
A.A. Dosmakanbetova, Z.A. Ibragimova, Zh.K. Shukhanova, S.M. Konysbekov, D.K. Zhumadullayev DEVELOPMENT OF A METHOD FOR OBTAINING FINELY DISPERSED SILICON DIOXIDE POWDER.....	93
A.M. Kozhakhmetova, K.T. Zhantasov, O.B. Dormeshkin, B.K. Asilbekova, G.T. Zhamanbalaeva PRODUCTION OF FUEL MIXTURE BASED ON BROKEN SILICON - PHOSPHATE RAW MATERIAL AND CHPP WASTE.....	103

Z.M. Muldakhmetov, S.D. Fazylov, A.M. Gazaliev, O.A. Nurkenov, O.T. Seilkhanov THE SYNTHESIS OF NEW INCLUSION COMPOUNDS COMPLEXES CYTISINE: β -CYCLODEXTRIN.....	112
B.M. Nasibullin, R.B. Akhmetkaliev, R.O. Orynassar, N.B. Zhaksylyk STUDY OF DEMULSIFICATION OF WATERED OIL.....	121
P.V. Panchenko, D.S. Puzikova, G.M. Khusurova, X.A. Leontyeva ELECTROCHEMICAL METHOD FOR OBTAINING TITANIUM DIOXIDE.....	130
N.Zh. Totenova, B.K. Massalimova, V.A. Sadykov, G.K. Matniyazova SYNTHESIS AND STUDY OF STRUCTURAL, TEXTURAL AND MORPHOLOGICAL FEATURES OF CATALYSTS FOR STEAM REFORMING OF ETHANOLBASED ON PEROVSKITE -LIKE FERRITES.....	148
K.A. Urazov, A.K. Rahimova, S. Ait ELECTRODEPOSITION OF CZTS FILMS ON A CONDUCTIVE POLYMER LAYER.....	159
A.U. Shingisov, R.S. Alibekov, S.U. Yerkebayeva, E.U. Mailybayeva, M.S. Kadeyeva STUDY OF THE POLYPHENOLS CONTENT IN THE VARIOUS APPLES SORTS OF THE KAZAKHSTAN SELECTION.....	169
M.A. Yakiyaeva, A.G. Sagynova, M.E. Yerzhanova DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF NATIONAL CEREALS PRODUCT (TALKAN) OF HIGH NUTRITIONAL VALUE AND SAFETY STUDY.....	180

MEMORY OF SCIENTISTS

LEPESOV KAMBAR KAZYMOVICH.....	193
---------------------------------------	-----

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

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

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

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

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

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

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

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

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

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

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

Редакторы: *М.С. Ахметова, А. Ботанқызы, Д.С. Аленов, Р.Ж. Мрзабаева*
Верстка на компьютере *Г.Д.Жадыранова*

Подписано в печать 24.06.2022.
Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
12,5 п.л. Тираж 300. Заказ 2.