

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2020)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и
теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/GMIF3466>**Б. И. Диханбаев¹, А. Б. Диханбаев²**¹Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Нур-Султан, Республика Казахстан;²Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы,
Республика Казахстан

К ВОПРОСУ БЕЗОТХОДНОГО СЖИГАНИЯ ЭКИБАСТУЗСКОГО УГЛЯ И УТИЛИЗАЦИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ОТХОДЯЩИХ ГАЗАХ

Производственная деятельность человечества с использованием высокозольного ископаемого вида топлива для производства электроэнергии неуклонно увеличивает золотые отходы и выбросы углекислого газа в окружающую среду. В предлагаемой статье предложен вариант безотходного сжигания экибастузского угля в плавильном реакторе устанавливаемом под котлом; предусматривается получение, кроме пара энергетических параметров, расплава пригодного для производства строительных материалов, возгонов цинка, галлия и германия, сокращение выбросов «CO₂» в атмосферу и возврат в процесс части углерода «CO₂». На основе метода предельного энергосбережения разработана энергосберегающая тепловая схема энергетического котла на базе предложенной технологии восстановления «CO₂, H₂O» отходящих газов реактора цинковыми парами до «CO, H₂». Получаемый при этом, избыточный водород будет использоваться для вытеснения из «CO» элементарного углерода. Отработанный реагент, окись цинка, после восстановления на цинк будет замкнуто использоваться в процессе. В случае реализации предлагаемой системы выбросы CO₂ в атмосферу сократятся до 50 %, ожидаемый срок окупаемости составит 1,0–1,5 лет.

Ключевые слова: диоксид углерода, реактор инверсии фаз, дистилляция цинка, золотые отходы, возгоны галлия, германия.

Введение.

Имея 70 % источников на угле и вырабатывая 80 % энергии на угольных станциях Казахстан остается лидером по вредным выбросам в окружающую

среду. Учитывая, что будут строиться новые тепловые станции на Балхаше, Кокшетау, Астане и Аркалыке, то опасность загрязнения окружающей среды будут расти. Ежегодный выход золы и золошлаковых смесей при сжигании только экибастузского угля составляет около 19 млн. т, а в золоотвалах ТЭС, от сжигания только экибастузского угля, к настоящему времени накоплено более 300 млн. тонн золошлаковых отходов (ЗШО), содержащих до 5–8 % остаточного углерода. Концентраций Ga, Ge в ЗШО более 200 г/т, цинка до 4 %, что сравнимо с содержанием галлия, германия цинка и в исходном угле [1].

Вопросу извлечения галлия, германия из отходящих газов сжигания угля посвящено много исследований. В [3, 4] предлагается улавливание возгонов в абсорбционных аппаратах путем орошения раствором соляной кислоты с последующим продувом раствора воздухом, что позволит получить солянокислый раствор Ge(IV) и Ga(III). Предшествующие работы велись в направлении использования ЗШО в дорожном строительстве, производстве строительных материалов как ячеистого бетона, золобетона [2]. Однако, несмотря на их несомненную важность, все перечисленные исследования направлены на переработку отходов, следуя остаточному принципу «сначала создавать отходы, затем их «успешно» перерабатывать».

Методология. Перспективным направлением, на наш взгляд, было бы создание технологии позволяющей безотходное сжигание экибастузского угля с выработкой за один цикл пара энергетических параметров, возгонов редкоземельных металлов, расплава пригодного для производства шлаковаты или каменного литья. Такая технология обеспечивала бы безотходность процесса и снизила бы удельную эмиссию углекислого газа в атмосферу по отношению к каждой из дополнительно выработанной продукции. Поставленная задача решалась **методом предельного энергосбережения** [6], включающий: отбор прогрессивного плавильного оборудования, формирование безотходной технологии исключаящей вредные выбросы в окружающую среду и разработки энергосберегающей тепловой схемы переработки сырья.

Результаты экспериментов. Для решения указанной задачи авторы предлагают переработку Экибастузского угля методом плавления – в плавильном агрегате нового поколения - реакторе инверсии фаз [5]. Опытно-промышленное испытание на установке производительностью 1,5 т/ч показали, что степень восстановления германия и цинка из «богатых» шлаков (Ge 110–115г/т. шл., Zn 10–11 %) Усть - Каменегорского свинцово-цинкового комбината в реакторе инверсии фаз составил ~ 70 %. Концентрация цинка в возгонах – 55–60 %, германия – 1, 4–1,6 %. Удельный расход энергии в сопоставимых условиях в 2–3 раза ниже, чем при переработке тех же шлаков в вельщпечи Лениногорского полиметаллического комбината [6]. Установка проработала в температурном режиме расплава 1300–1400 °С около 1000

часов и показала надежность конструкции плавильного агрегата [6, 7].

Обсуждение результатов экспериментов. Возгонка германия из расплава занимала особое место в экспериментах. Согласно [6] при возгонке цинка в вельщпечи галлий и германий остается в клинкере. Последнее обстоятельство возможно объясняется высокой температурой кипения (2200 °С), и низким давлением пара при 1300 °С (1 мм.рт. ст.), галлия и (2850 °С, 0,7 мм.рт. ст) германия, по сравнению с цинком (900 °С, 40 мм.рт.ст).

Изучение термодинамических характеристик реакций $\text{GeO} + \text{CO} = \text{Ge} + \text{CO}_2$, $\text{Ga}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} = 2\text{Ga} + 3\text{CO}_2$, $\text{Zn} + \text{GeO} = \text{ZnO} + \text{Ge}$, $\text{Ga}_2\text{O}_3 + 3\text{Zn} = 3\text{ZnO} + 2\text{Ga}$ показывает, что значения констант равновесия для них, при температуре расплава 1300–1400 °С, находится в диапазонах (9,868E-007 - 9,135E-012) [18]. Эти данные также приводит к мысли о малой вероятности восстановления Ge и Ga в условиях процесса.

Поэтому перед экспериментаторами встает вопрос, по какому механизму стало возможно возгонка GeO при температуре расплава 1300–1400 °С. Результаты обсуждения приводит к выводу, что молекулы GeO могло захватываться парами цинка и выноситься из слоя расплава. Также сделано предположение, что в случае нахождения Ga_2O_3 в шлаке, путь его возгонки может протекать по такому же механизму.

Для изучения возможности плавки смеси золы части екибастузского угля и известняка на расплав пригодный для производства шлаковаты был произведен технологический расчет для состава ЗШО в %: $\text{SiO}_2 - 60$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 25$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 10$; $\text{CaO} - 5$; $\text{MgO} - 0,8$. Соотношение: 100кг золошлак/100кг известняк. Полученные расчетные значения модуля кислотности расплава – 1,52, модуля вязкости – 1,2 и показателя водостойкости – 4,42 удовлетворяет получению шлаковаты при температуре 1500 °С с вязкостью расплава 6,47 Пуаз, что позволяет легко выпускать его из летки [8].

Разработка энергосберегающей тепловой схемы. На основе экспериментальных исследований на пилотной установке по возгонке цинка, германия из металлургических шлаков и технологического расчета композиции «зола/известняк» было разработано принципиальная схема реактора инверсии фаз для безотходного сжигания екибастузского угля под котлом ТЭС [9].

Предлагаемый плавильный реактор будет встроен под холодную воронку котла и работать по следующему принципу (рисунок 1). Смесь дробленого угля и известняка, на первичной вихревой воздушной струе, будут вдваться в каждые из горелок цилиндрических сепарационных камер реактора с двух боковых сторон. С нижних продувочных решеток будет подаваться вторичный дутьевой воздух. В сепарационных камерах будут протекать горение угля, декарбонизация известняка, химические

реакций образования минералогических фаз, а в ванне, формирование расплава необходимой консистенции, для производства строительной продукции. За пределом реактора расплав будет направляться к следующую технологическую стадию, для получения шлаковаты или каменного литья. Возгоны цинка, галлия и германия в отходящих газах реактора, после охлаждения в котле, будут улавливаться в электрофилтре.

Однако, несмотря на ожидаемой безотходности процесса сжигания угля и улучшении эксплуатационных характеристик котла, данная система не удовлетворяет главному требованию экологии – сокращению выбросов диоксида углерода в атмосферу.

Диоксид углерода может быть отделен от воздуха или дымовых газов с помощью технологий абсорбции, адсорбции, очистки аминами, мембранного газоразделения или газогидратов. [10–16]. 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 использованием энергетической составляющей газа – углерода.

Одним из путей к решению проблемы может быть использование цинка, как реагента, преобразующее 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 [17], цинк – химически активный металл, обладает выраженными восстановительными свойствами, по активности уступает щелочно-земельным металлам. Реагирует с парами воды при температуре красного каления ($550 - 650 \text{ }^\circ\text{C}$) с образованием оксида цинка и водорода.

При экспериментах на пилотной установке, [6], интенсивность протекания реакций $\text{Zn} + \text{H}_2\text{O} = \text{ZnO} + \text{H}_2$, $\text{Zn} + \text{CO}_2 = \text{ZnO} + \text{CO}$ изучали во время возгонки цинка из шлака. При переходе **восстановительных** цинксодержащих газов с реактора ($t=1400-1500 \text{ }^\circ\text{C}$) во вращающуюся печь с начальной ($1400-1500 \text{ }^\circ\text{C}$) и конечной температурной зоной ($600-550 \text{ }^\circ\text{C}$), со временем пребывания потока газов в печи 2–3 секунды, следов конденсированного цинка на поверхности печи не наблюдалось. Данный результат свидетельствует о высокой скорости протекания указанных реакций.

Рисунок 2 демонстрируют восстановительную способность цинка и водорода в пределах температур $400-1000 \text{ }^\circ\text{C}$ [18]. В данном интервале все три реакции экзотермические, константы равновесия реакций растет с уменьшением температуры, что подтверждает о высокой реакционной способности цинка. В интервале температур $700-800 \text{ }^\circ\text{C}$ константа равновесия реакции (1) $\text{Zn} + \text{H}_2\text{O} = \text{ZnO} + \text{H}_2$ в два раза выше чем «К» реакции (2) $\text{Zn} + \text{CO}_2 = \text{ZnO} + \text{CO}$, что указывает на вероятный опережающий темп развития

реакции (1) перед (2). В промежутке температур 400–500 °С «К» реакции (3) $\text{CO} + \text{H}_2 = \text{C} + \text{H}_2\text{O}$ почти одинакова с «К» реакции (1) $\text{Zn} + \text{H}_2\text{O} = \text{ZnO} + \text{H}_2$. Из последнего можно заключить, что водород восстановленный в (1) будет успевать расходоваться в (3).

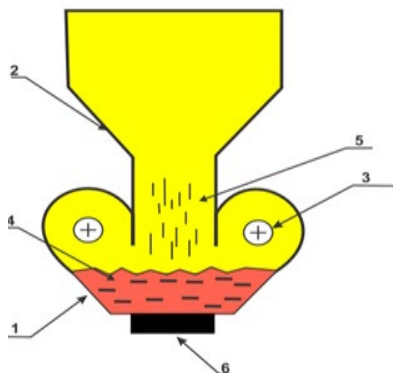


Рисунок 1– Принципиальная схема реактора инверсии фаз для безотходного сжигания экибастузского угля под котлом ТЭС.

1 – реактор инверсии фаз, 2 – котел, 3 – горелочные устройства, 4 – ванна расплава, 5 – газы, возгоны галлия, германия

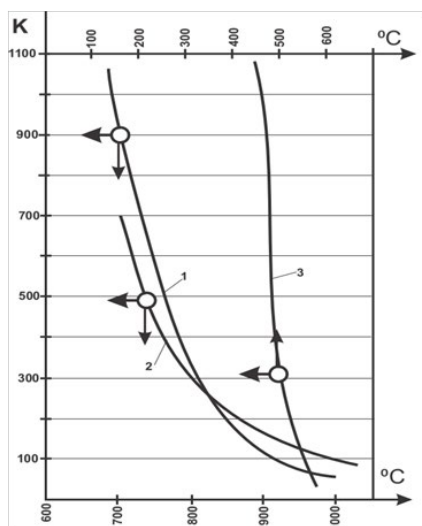


Рисунок 2 – График температурной зависимости констант равновесия реакций: 1 – $\text{Zn} + \text{H}_2\text{O} = \text{ZnO} + \text{H}_2$, 2 – $\text{Zn} + \text{CO}_2 = \text{ZnO} + \text{CO}$, 3– $\text{CO} + \text{H}_2 = \text{C} + \text{H}_2\text{O}$

На базе «плавильный реактор-паровой котел», разработана тепловая схема энергосберегающей, безотходной и экологически чистой системы переработки экибастузского угля показанная на рисунке 3. Принцип действия системы следующий. Процесс непрерывный. Дробленая шихта состоящая из экибастузского угля и известняка вдвухается в реактор инверсии фаз (РИФ) 2. В РИФ шихта плавится, перегревается, возгоняется из него цинк и германий, а силикатный расплав направляется на производство стройматериалов. Окислитель – обогащенный до 30 % кислородом воздух. Отходящие восстановительные газы РИФ 2 используются по двухпоточной схеме. Первый поток через радиационную часть котла 1 поступает в воздухоподогреватель 4 (ВЗП), а второй поток, после обогрева ретортной печи установки «дистиллятор – конденсатор цинка» 3, также направляется в ВЗП, 4. Конденсированный цинк из 3, посредством водяного пара вырабатываемого в кессонах РИФ 2, диспергируется в межтрубное пространство ВЗП, 4. В межтрубном пространстве ВЗП 4 происходит основные реакции восстановления – $Zn+H_2O=ZnO+H_2$ и $Zn+CO_2=ZnO+CO$. Отходящие газы содержащие H_2 , CO и ZnO проходят экономайзерную камеру 5, где происходит реакция замещения – $CO+H_2=C+H_2O$, с выделением атомарного углерода (сажи). Часть сконденсированных водяных паров выводятся из 5. Далее газы с камеры 5 состоящие из H_2O , C , ZnO поступает в электрофильтр 6 (ЭФ) для сепарации сажи (C) и возгонов ZnO от газов. Уходящие газы с ЭФ, включающие в себе в основном водяные пары и азот, с минимальным количеством CO_2 выпускаются в атмосферу. Прогнозные расчеты показывают, что при соответствующей доводке предложенной технологии выбросы CO_2 в атмосферу можно сократить до 50 %. Смесь сажи (C) и возгонов (ZnO , Ga_2O_3 , GeO) направляется в установку «дистиллятор – конденсатор цинка» 3, основными продуктами которой являются конденсированный цинк и CO -газ содержащий сублиматы Ga_2O_3 и GeO . CO – газ из конденсатора, после очистки от возгонов галлия и германия в рукавных фильтрах 7, направляется в РИФ в качестве дополнительного топлива.

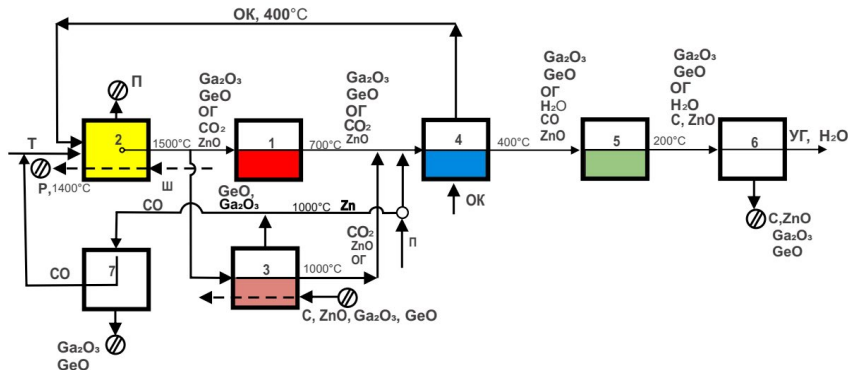


Рисунок 3 – Предлагаемая тепловая схема энергосберегающей, безотходной и экологически безопасной переработки экибастузского угля в агрегате «плавильный реактор - паровой котел»,

1-радиационная часть котла, 2 – реактор инверсии фаз, 3 – установка «дистиллятор – конденсатор цинка», 4 – воздухоподогреватель, 5 – экономайзерная камера восстановления углерода из его монооксида, 6 – электрофильтр, 7 – рукавные фильтры. Ш – шихта, Р – силикатный расплав, Т – топливо, ОК – окислитель, П – пар, ОГ – отходящие газы, УГ – уходящие газы, С, CO, CO₂, H₂O – углерод, монооксид и диоксид углерода, пары воды соответственно, Zn, ZnO, Ga₂O₃ и GeO – конденсированный цинк, возгоны цинка, галлия и германия, соответственно

В случае реализации, в предлагаемой системе «плавильный реактор-паровой котел» уменьшатся эксплуатационные издержки производства пара: за счет сокращения плановых остановок котла на чистку поверхностей нагрева от золых отложений и увеличения срока службы хвостовых поверхностей нагрева связанного с абразивным золовым износом труб [19–23].

Согласно проведенного укрупненного технико-экономического обоснования предлагаемой системы, срок окупаемости вычисленный по временной стоимости денег котла БКЗ-450/39ф ТЭС производящей электрическую, тепловую энергий, возгонов цинка, германия и шлаковатных изделий составит:

$$\tau = \frac{I^* n}{NPV} = \frac{965959238 * 10}{7945764661} = 1.2.$$

Здесь I – капитальные вложения, n – срок реализации проекта, количество лет, в течение которых будет получено годовые сэкономленные средства; NPV – чистая приведенная стоимость, разница между настоящей стоимостью всех будущих денежных потоков и первоначальным капиталовложением, с учетом банковской ставки 20 %;

Таким образом, установка плавильного реактора инверсии фаз под котлом БКЗ-450/39ф и применение технологии утилизации диоксида углерода, позволит, кроме производства энергетической продукции, выработать возгоны цинка и германия, шлаковатных изделий, минимизировать выбросы CO_2 в атмосферу до 50 % и вернуть часть углерода CO_2 в процесс в качестве топлива.

Выводы

Предложен плавильный реактор для безотходной переработки экибастузского угля устанавливаемом под котлом ТЭС и способ выделения из CO_2 углерода для его регенеративного использования в процессе.

Разработана энергосберегающая тепловая схема сжигания экибастузского угля в котлах ТЭС минимизирующая выбросы CO_2 в атмосферу до 50 %.

Ожидается, что в случае реализации предлагаемой системы, за счет выработки возгонов цинка, галлия, германия и шлаковатных изделий, срок окупаемости инвестиции составит $\sim 1-1,5$ лет.

Список использованных источников

1 **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.

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

3 Состав и шлакующие свойства золы ЕУ / А. Н. Алеханович, В. В. Богомолов. ... // Теплоэнергетика. – 1999. – № 5. – С. 29–31.

4 **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. 29 с.

5 **Диханбаев, Б. И., Жарменов, А. А., Тельбаев, С. А., Романов, Г. А., Терликбаева, А. Ж., Савельев, А. Г., Диханбаев, А. Б.** Способ переработки цинксодержащих продуктов. А. С. № 30040. Республика Казахстан. 21.05.2002.

6 **Диханбаев, А. Б., Диханбаев, Б. И.** Прогнозные характеристики установки по переработке отвальных цинксодержащих шлаков // Труды междунар.науч. прак.конф. «Перспективные направления развития химии и химической технологии». – Шымкент, 1999. – С. 137–138.

7 **Dikhanbaev, B., Dikhanbaev, A., Chandima, G.** 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.

8 **Dikhanbaev, B., Dikhanbaev, A., Chandima, G.** 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>.

9 **Диханбаев, А. Б., Диханбаев, Б.** Перспективы безотходного сжигания екибастузского угля под котлом тепловых электрических станций// Материалы VII Международной научно-практической конференции «Academic science – problems and achievements» – 2015, – North Charleston, USA, – V. 2 – С. 211–217.

10 **Fanchi, John R, Fanchi, Christopher, J.** (2016). Energy in the 21st Century. World Scientific Publishing Co Inc. p. 350. ISBN 978-981-314-480-4.

11 [IPCC, 2005] IPCC special report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by working group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L.A. Meyer (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 pp. Available in full at www.ipcc.ch Archived 2010-02-10 at the Wayback Machine (PDF – 22.8MB). Grantham 2019, p. 9.

12 **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. doi:10.1007/s10584-007-9387-4.

13 **Werner, Constanze; Schmidt, Hans-Peter; Gerten, Dieter; Lucht, Wolfgang; Kammann, Claudia** (2018). «Biogeochemical potential of biomass pyrolysis systems for limiting global warming to 1.5° C». Environmental Research Letters. 13 (4): 044036. doi:10.1088/1748-9326/aabb0e.

14 **Phelps, J; Blackford, J; Holt, J; Polton, J.** (2015), «Modelling Large-Scale CO2 Leakages in the North Sea», International Journal of Greenhouse Gas Control, 38: 210–220, doi:10.1016/j.ijggc.2014.10.013.

15 **Sumida, Kenji; Rogow, David L.; Mason, Jarad A.; McDonald, Thomas M.; Bloch, Eric D.; Herm, Zoey R.; Bae, Tae-Hyun; Long, Jeffrey R.** (2012). “Carbon Dioxide Capture in Metal–Organic Frameworks”. Chemical Reviews. 112 (2): 724–781. doi:10.1021/cr2003272. PMID 22204561.

16 **Bryngelsson, Mårten; Westermark, Mats** (2009). »CO2 capture pilot test at a pressurized coal fired CHP plant«. Energy Procedia. 1: 1403–1413. doi:10.1016/j.egypro.2009.01.184.

17 **Michael, E., Wieser, Norman Holden, Tyler, B., Copen, John, K., Böhlke, Michael Berglund, Willi, A., Brand, Paul De Bièvre, Manfred Gröning, Robert, D., Loss, Juris Meija, Takafumi Hirata, Thomas Prohaska,**

Ronny Schoenberg, Glenda O'Connor, Thomas Walczyk, Shige Yoneda, Xiang-Kun Zhu. Atomic weights of the elements 2011 (IUPAC Technical Report) (англ.) // Pure and Applied Chemistry. – 2013. – Vol. 85, no. 5. – P. 1047–1078. – doi:10.1351/PAC-REP-13-03-02.

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

19 Заявка № 67883 – Патент РК на изобретение. Способ утилизации диоксида углерода в отходящих газах агрегатов./ А. Б. Диханбаев, Б. И. Диханбаев. Оpub. 01.07.2020.

20 **Баубеков, К. Т.** Вредные выбросы в продуктах сгорания газомазутных котлов (корреляционный анализ и опытно-промышленные исследования). – Астана : КАТУ им. С. Сейфуллина, 2017. – 384 с.

21 **Баубеков, К. Т.** Технологические методы снижения токсичности выбросов и перспективы разработки экологически безопасных газомазутных котлов (обзор проблем, аналитические и промышленные исследования). – Астана : КАТУ им. С. Сейфуллина, 2016. – 237 с.

22 **Баубеков, К. Т.** Повышение экологической безопасности газомазутных котлов. Lambert Academic Publishing. Германия, 2018. – 283 с.

23 **Баубеков, К. Т.** Инновационные технологии сжигания в газомазутных котлах (обзор проблем, аналитические и промышленные исследования). Lambert Academic Publishing. Германия, 2018. – 384 с.

References

1 **Blyda, I. A., Slyusarenko, L. I., Abisheva, Z.** Ash and slag waste from the power industry - raw material for the production of rare metals and alumina. // Complex use of mineral raw materials. [Blajda, I. A., Slyusarenko, L. I., Abisheva, Z. Zoloshlakovy`e otxody` e` nergetiki – sy`r`e dlya proizvodstva redkix metallov i glinozema. // Kompleksnoe ispol`zovanie mineral`nogo sy`r`ya]. – № 4. – 2008. – S. 39–51.

2 **Koshumbaev, M. B.** Processing of industrial and household waste. [Koshumbaev, M. B. Pererabotka promy`shlenny`x i by`tovy`x otxodov]. – Uchebnoe posobie. – Astana. 2018. – 270 s.

3 Composition and slagging properties of Ekibastuz Coal's ash / A.N. Alekhanovich, V.V. Bogomolov ... // Heat Power Engineering. [Sostav i shlakuyushhie svoystva zoly` EU / A. N. Alexanovich, V. V. Bogomolov...// Teploe`nergetika]. – 1999. – № 5. – S. 29–31.

4 Mikhailov Yuri Leonidovich. Physicochemical studies of the processes of leaching of microcomponents of ash from coal combustion in the Ekibastuz basin

// Abstract of the thesis for the degree of candidate of chemical sciences. [Mixaj]lov, Yuri Leonidovich. Fiziko-ximicheskie issledovaniya processov vy`shhelachivaniya mikrokomponentov zoly` ot szhiganiya uglej E` kibastuzskogo bassejna // Avtoreferat dissertacii na soiskanie stepeni kandidata ximicheskix nauk]. Omsk. – 2008. – 29 p.

5 Dikhanbaev, B. I., Zharmenov, A. A., Telbaev, S. A., Romanov, G. A., Terlikbaeva, A. Zh., Saveliev, A. G., Dikhanbaev, A. B. / Method of processing zinc-containing products. A. C. No. 30040. Republic of Kazakhstan. / publ. [Dixanbaev, B. I., Zharmenov, A. A., Tel`baev, S. A., Romanov, G. A., Terlikbaeva, A. Zh., Savel`ev, A. G., Dixanbaev, A. B. Sposob pererabotki cinksoderzhashhix produktov. A. S. № 30040. Respublika Kazaxstan]. – 21.05.2002.

6 Dikhanbaev, A., Dikhanbaev, B. I. Predictive characteristics of the installation for the processing of dump zinc-containing slag // Proceedings of the international scientific research, practical conf. «Perspective directions of development of chemistry and chemical technology». [Dixanbaev, A. B., Dixanbaev, B. I. Prognozny`e xarakteristiki ustanovki po pererabotke otval`ny`x cinksoderzhashhix shlakov // Trudy` mezhdunar.nauch. prak.konf. «Perspektivny`e napravleniya razvitiya ximii i ximicheskoy texnologii)]. – Shy`mkent, 1999. – P. 137–138.

7 Dikhanbaev B., Dikhanbaev A., Chandima G. 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.

8 Dikhanbaev, B., Dikhanbaev, A., Chandima G. 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.018779077>.

9 Dikhanbaev, A. B. Dikhanbaev, B. Prospects of waste-free combustion of Ekibastuz coal under the boiler of thermal power plants // Proceedings of the VII International scientific and practical conference «Academic science – problems and achievements». [Dixanbaev, A. B. Dixanbaev, B. Perspektivy` bezotxodnogo szhiganiya ekibastuzskogo uglya pod kotlom teplovy`x e`lektricheskix stancij// Materialy` VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Academic science – problems and achievements»]. – North Charleston, USA. – 2015. V. 2 – P. 211–217.

10 Fanchi, John R.; Fanchi, Christopher J. (2016). Energy in the 21st Century. World Scientific Publishing Co Inc. – P. 350. – ISBN 978-981-314-480-4.

11 [IPCC, 2005] IPCC special report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by working group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 pp. Available in full at www.ipcc.ch Archived 2010-02-10 at the Wayback Machine (PDF - 22.8MB). Grantham 2019, p. 9.

12 **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. doi:10.1007/s10584-007-9387-4.

13 **Werner, Constanze; Schmidt, Hans-Peter; Gerten, Dieter; Lucht, Wolfgang; Kammann, Claudia** (2018). «Biogeochemical potential of biomass pyrolysis systems for limiting global warming to 1.5 °C». *Environmental Research Letters*. 13 (4): 044036. doi:10.1088/1748-9326/aabb0e.

14 Phelps, J; Blackford, J; Holt, J; Polton, J (2015), «Modelling Large-Scale CO₂ Leakages in the North Sea», *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 38: 210–220, doi:10.1016/j.ijggc.2014.10.013

15 **Sumida, Kenji; Rogow, David L., Mason, Jarad A., McDonald, Thomas M., Bloch, Eric D., Herm, Zoey R., Bae, Tae-Hyun, Long, Jeffrey R.** (2012). «Carbon Dioxide Capture in Metal–Organic Frameworks». *Chemical Reviews*. 112 (2): 724–781. doi:10.1021/cr2003272. PMID 22204561.

16 **Bryngelsson, Mårten; Westermark, Mats** (2009). «CO₂ capture pilot test at a pressurized coal fired CHP plant». *Energy Procedia*. 1: 1403–1413. doi:10.1016/j.egypro.2009.01.184.

17 **Michael E., Wieser, Norman Holden, Tyler B., Coplen, John K., Böhlke, Michael Berglund, Willi A., Brand, Paul De Bièvre, Manfred Gröning, Robert D., Loss, Juris Meija, Takafumi Hirata, Thomas Prohaska, Ronny Schoenberg, Glenda O'Connor, Thomas Walczyk, Shige Yoneda, Xiang-Kun Zhu.** Atomic weights of the elements 2011 (IUPAC Technical Report) (англ.) // *Pure and Applied Chemistry*. – 2013. – Vol. 85, no. 5. – P. 1047–1078. – doi:10.1351/PAC-REP-13-03-02.

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

19 Application No. 67883 - RK patent for invention. Method of utilization of carbon dioxide in waste gases of units. / A. B. Dikhanbaev, B. I. Dikhanbaev. [Zayavka № 67883 – Patent RK na izobretenie. Sposob utilizacii dioksida ugleroda v otxodyashnix gazax agregatov./ A. B. Dixanbaev, B. I. Dixanbaev]. Opub. 01.07.2020.

20 **Baubekov, K. T.** Hazardous emissions in combustion products of gas-oil boilers (correlation analysis and pilot studies). [Baubekov, K. T. Vredny'e vy'brosy` v produktax sgoraniya gazomazutny`x kotlov (korrelyacionny`j analiz i opy`tno-promy`shlenny`e issledovaniya)]. – Astana : KATU im. S. Seifullina, 2017. – 384 s.

21 **Baubekov K. T.** Technological methods for reducing the toxicity of emissions and prospects for the development of environmentally friendly gas-oil boilers (review of problems, analytical and industrial research). [Baubekov, K.

T. *Technologicheskie metody snizheniya toksichnosti vybrosov i perspektivy razrabotki ekologicheskii bezopasnykh gazomazutnykh kotlov (obzor problem, analiticheskie i promyshlenny'e issledovaniya)*]. – Astana : KATU im. S. Seifullina, 2016. – 237 p.

22. **Baubekov, K. T.** Improving the environmental safety of gas-oil boilers. [Baubekov, K. T. *Povyshenie ekologicheskoi bezopasnosti gazomazutnykh kotlov*]. Lambert Academic Publishing. Germaniya, 2018. – 283 p.

23. **Baubekov, K. T.** Innovative combustion technologies in gas-oil boilers (review of problems, analytical and industrial studies). [Baubekov, K. T. *Innovacionny'e tehnologii szhiganiya v gazomazutnykh kotlax (obzor problem, analiticheskie i promyshlenny'e issledovaniya)*]. Lambert Academic Publishing. Germaniya, 2018. – 384 p.

Материал поступил в редакцию 11.12.20.

Б. И. Диханбаев¹, А. Б. Диханбаев²

Екібастұз көмірін қалдықсыз жағу және қалдық газдарда көмірқышқыл газын пайдалану мәселесі туралы

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Нур-Сұлтан қ.

²Алматы энергетика және байланыс университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Материал баспаға 11.12.20 түсті.

B. I. Dikhanbaev¹, A. B. Dikhanbaev²

On the issue of waste-free combustion of Ekibastuz coal and utilization of carbon dioxide in waste gases

¹Kazakh Agro Technical University S. Suifullin,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.

²Almaty University of Energy and Communications,
Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 11.12.20.

Электр энергиясын өндірудегі жоғары күлді отынды пайдаланатын адамзаттың өндірістік белсенділігі қоршаған ортаға күл қалдықтары мен көмірқышқыл газының шығарылуын үнемі арттырып отырады. Ұсынылған мақалада қазандықтың астына орнатылған балқыту реакторында Екібастұз көмірін ысырапсыз жағудың нұсқасы ұсынылған; атмосфераға «CO₂» шығарындыларын азайту және технологиялық процеске «CO₂» көміртегісінің бір

бөлігін қайтару үшін энергетикалық параметрлерден басқа, құрылыс материалдарын, мырыш, галлий және германий сублиматтарын өндіруге қолайлы балқыманы алу қарастырылған. Ұсынылған технология негізінде «CO₂, H₂O» реактор газ қалдықтарын мырыш буымен «CO, H₂»-ге дейін төмендету үшін энергияны үнемдейтін жылу схемасы жасалды. Алынған артық сутегі қарапайым көміртекті «CO» -дан ығыстыру үшін қолданылады. Жұмсалған реагент мырыш оксиді, мырыш болып қалпына келгеннен кейін, тұйықталған процесте қолданылады. Егер ұсынылған жүйе бұл іске асырылса, атмосфераға CO₂ тастандылары 50 %-ке кемиді, жұмалған қаржы 1,0–1,5 жылда өтеледі.

Кілтті сөздер: көмірқышқыл газы, инверсия фаза реакторы, мырыш тазарту, күл қалдықтары, германий, галлий шаңдары.

The production activity of mankind using high-ash fossil fuels for electricity generation is steadily increasing ash waste and carbon dioxide emissions into the environment.

The article proposes a variant of wasteless combustion of Ekibastuz coal in a melting reactor installed under the boiler; it is envisaged to obtain, in addition to steam of energy parameters, a melt suitable for the production of building materials, sublimates of zinc, gallium and germanium, to reduce emissions of «CO₂» into the atmosphere and return to the process a part of carbon in «CO₂». An energy-saving thermal diagram of a power plant boiler has been developed on the basis of the proposed technology for the reduction of «CO₂, H₂O» of reactor waste gases with zinc vapor to «CO, H₂». The resulting excessive hydrogen will be used to displace elemental carbon from «CO». The spent reagent, zinc oxide, after recovering into zinc will be used again in the process. In case of implementation, CO₂ emissions into the atmosphere will be cut up to 50 %, the expected payback period of the proposed system will be 1.0–1.5 years.

Keywords: carbon dioxide, reactor inversion phase, zinc distillation, ash waste, germanium, gallium sublimates.

Теруге 11.12.2020 ж. жіберілді. Басуға 17.12.2020 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

3,99 Мб RAM

Шартты баспа табағы 26,6. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Шукурбаева

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3715

Сдано в набор 11.12.2020 г. Подписано в печать 17.12.2020 г.

Электронное издание

3,99 Мб RAM

Усл. печ. л. 26,6. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Шукурбаева

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3715

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik.tou.edu.kz