

Научная статья
УДК 621.311.22¹

КАРБОНИЗАЦИЯ СаО ПРИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ СО₂ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

**Джессаэль Стеффан Мендоса Парада,
Николай Анатольевич Абаимов¹**

Уральский федеральный университет имени первого Президента
России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

¹n.a.abaimov@urfu.ru

Аннотация. Приведены результаты мировых расчетно-аналитических и экспериментальных исследований карбонизации СаО при минерализации СО₂ дымовых газов в кипящем слое. Показано применение искусственных декарбонизированных материалов и отходов в климатических энергетических проектах. Изложены преимущества совмещения процессов получения свободных оксидов кальция и магния в минеральной части сжигаемого топлива, сухого золошлакоудаления и химического насыщения их углекислым газом из продуктов сгорания с получением термодинамически устойчивых карбонатов, а также вовлечения в процесс химического рециклинга региональных ресурсов.

Ключевые слова: карбонизация, минерализация, кипящий слой

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации, постановление № 211, контракт № 02. А03.21.0006.

Для цитирования: Мендоса Парада Дж. С., Абаимов Н. А. Карбонизация СаО при минерализации СО₂ дымовых газов в кипящем слое // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика. Даниловские чтения — 2021 = Energy and Resource Saving. Power Supply. Non-traditional and Renewable Energy Sources. Nuclear Energy. Danilov Readings — 2021 : сборник научных трудов. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2023. С. 591–596.

Original article

CAO CARBONATION DURING FLUE GASES CO₂ MINERALIZATION IN FLUIDIZED BED

Jessaelle S. Mendoza Parada, Nikolay A. Abaimov¹

Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Ekaterinburg, Russia

¹n.a.abaimov@urfu.ru

Abstract. The results of the world computational-analytical and experimental studies of CaO carbonization during CO₂ mineralization of flue gases in a fluidized bed are presented. The use of artificial decarbonized materials and waste in climate energy projects is shown. The advantages of combining the processes of obtaining free calcium and magnesium oxides in the mineral part of burned fuel, dry ash removal and chemical saturation with carbon dioxide from combustion products to obtain thermodynamically stable carbonates, as well as involving regional resources in the process of chemical recycling are outlined.

Keywords: carbonization, mineralization, fluidized bed

Acknowledgments: the work was carried out with the financial support of the Government of the Russian Federation, of Decree No. 211, contract No. 02.A03.21.0006.

For citation: Mendoza Parada J. S., Abaimov N. A. (2023). Karbonizatsiya CaO pri mineralizatsii CO₂ dymovykh gazov v kipyashchem sloye [CaO carbonation during flue gases CO₂ mineralization in fluidized bed]. *Ehnergo- i resursosbere-zhenie. Ehnergoobespechenie. Netradicionnye i vozobnovlyaemye istochniki ehnergii. Atomnaya ehnergetika. Danilovskie chteniya — 2021* [Energy and Resource Saving. Power Supply. Non-traditional and Renewable Energy Sources. Nuclear Energy. Danilov Readings — 2021]. Ekaterinburg : Ural University Publishing House, 2023. P. 591–596. (In Russ).

Применение искусственных декарбонизированных материалов и отходов в климатических энергетических проектах является принципиально новым и перспективным направлением, начинающим интенсивно развиваться в мировом сообществе.

Совмещение процессов получения свободных оксидов кальция и магния в минеральной части сжигаемого топлива, сухого золошлакоудаления и химического насыщения их углекислым газом из продуктов сгорания с получением термодинамически устойчивых карбо-

натов позволяет организовать малоотходный процесс производства электрической и тепловой энергии и заменителей природных материалов разного назначения. Вовлечение в процесс химического рециклинга региональных ресурсов (золошлаки ТЭС и иных производств, строительные отходы программ реновации жилья и др.) может поднять степень безотходности ТЭС без обращения к дорогостоящим технологиям улавливания и хранения углерода. Решение в рамках одного технологического процесса многофакторной задачи утилизации твердых и газообразных продуктов различного типа с получением дополнительной товарной продукции при соблюдении политики ресурсосбережения обеспечивает коммерческую привлекательность таких технологий.

При анализе механизмов карбонизации следует иметь в виду, что в зависимости от сочетания определяющих параметров процесс может протекать по одному из возможных многочисленных сценариев, располагаемых между двумя предельными вариантами:

— гетерогенное реагирование, осложненное в ряде случаев диффузией CO_2 в водной пленке, к расположенным на поверхности пор частиц золы основным оксидам при нарастающей во времени блокировкой реакционной поверхности плотной пленкой карбоната;

— гомогенное реагирование растворенных в воде CO_2 и ионов металлов после их перехода в раствор из газовой и твердой фазы с постепенным загромождением зоны реагирования мало подвижной высокодисперсной фазой.

Главным поглотителем CO_2 в щелочных отходах (например, золе) является CaO . Именно поэтому карбонизация именно этого вещества так пристально изучалась многими исследователями. Технологическое оформление таких решений зачастую представляет собой один или несколько аппаратов с кипящим слоем. Одной из первых работ по этой теме была статья [1, р. 62–68]. В ней рассматривается схема, состоящая из двух связанных реакторов с кипящим слоем. В первом реакторе (абсорбере) CO_2 дымовых газов минерализуется в CaO при 600°C с образованием CaCO_3 , который затем поступает во второй реактор (регенератор) для разложения обратно в CaO , но уже при 950°C . Тепло для разложения CaCO_3 образуется благодаря сжиганию угля в кислороде, соответственно продукты такого горения содержат много CO_2 (более 95%). Данная схема была рассчитана с учетом материального и теплового баланса, также были определены затраты на производство кислорода и ожижение CO_2 . С помощью кинетических расче-

тов по модели пузырькового кипящего слоя установлено, что высота реактора определяется не кинетическими ограничениями, а высотой теплообменника.

Развитием вышеописанной работы стало экспериментальное исследование, представленное в [2, р. 1614]. Результаты этого исследования показали, что степень минерализации относительно высока при достаточном количестве СаО в кипящем слое при 650 °С (рис.).

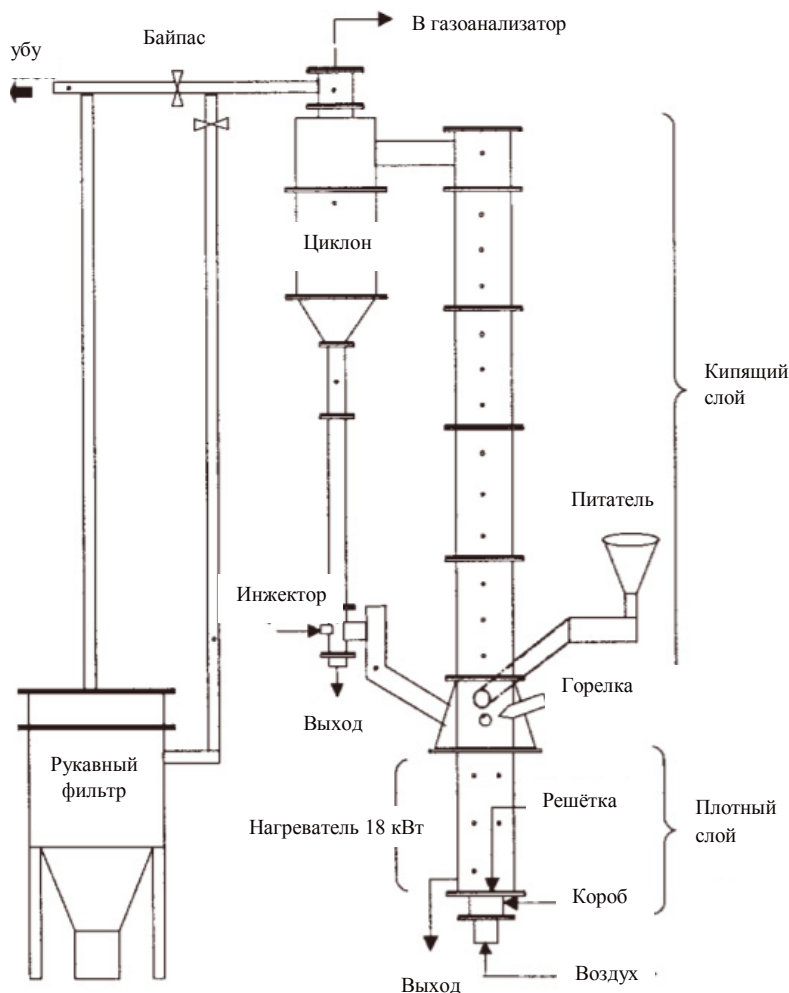


Рис. Пилотная экспериментальная установка кипящего слоя [2, р. 1615]

Поглощающая способность слоя снижается при увеличении числа циклов карбонизации-регенерации. Экспериментальные concentra-

ции CO_2 профилей внутри слоя во время этапа быстрого реагирования описаны соответствующей моделью кипящего слоя с использованием лабораторных данных по деактивации сорбента [2, p. 1621].

В одной из недавних работ по этой теме [3, p. 579] исследуется уже полусухой метод карбонизации. Экспериментальное исследование проведено на пилотном кипящем слое, заполненном инертными стеклянными шарами и суспензией $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Основными рассматриваемыми факторами являлись площадь реагирующей поверхности, скорость и температура газа на входе, концентрация CO_2 на входе, расход и концентрация сорбента. Экспериментальные данные показали, что степень минерализации повышается при увеличении эффективной площади реагирования, снижении расхода и концентрации CO_2 . Были найдены оптимальные условия работы экспериментальной установки, позволяющие достичь эффективности минерализации CO_2 равной 79 %.

В будущем авторами планируется работа по созданию численной модели установок с кипящим слоем и проведение расчётно-аналитических исследований по карбонизации золы дымовыми газами, содержащими CO_2 .

Список источников/References

1. A twin fluid-bed reactor for removal of CO_2 from combustion processes / T. Shimizu, T. Hirama, H. Hosoda, K. Kitano, M. Inagaki, K. Tejima // *Chemical Engineering Research & Design*. 1999. Vol. 77 (1). P. 62–68. DOI: 10.1205/026387699525882.

2. Capture of CO_2 from combustion gases in a fluidized bed of CaO / J. C. Abanades, E. J. Anthony, D. Y. Lu, C. Salvador, D. Alvarez // *AIChE J.* 2004. Vol. 50 (7). P. 1614–1622. DOI: 10.1002/aic.10132.

3. Nejad P. M. G., Hatamipour M. S. Investigation on the Removal of Carbon Dioxide Exhausted from Industrial Units in a Lab-Scale Fluidized Bed Reactor // *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*. 2020. Vol. 15 (2). P. 579–590. DOI:10.9767/bcrec.15.2.7882.579–590.

Информация об авторах

Джессаелль Стеффан Мендоса Парада — магистрант кафедры тепловых электрических станций Уральского энергетического инсти-

тута Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), jessaell@outlook.com

Николай Анатольевич Абаимов — кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), n.a.abaimov@urfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6506-6607>.

Information about the authors

Jessaele S. Mendoza Parada — Undergraduate Student of the Department of Thermal Power Plants of the Ural Power Engineering Institute of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), jessaell@outlook.com

Nikolay A. Abaimov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Thermal Power Plants of the Ural Power Engineering Institute of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), n.a.abaimov@urfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6506-6607>