

УДК 662.613.1

ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРЯМОЙ КАРБОНИЗАЦИИ УГОЛЬНОЙ ЗОЛЫ

Н. А. Симанов¹, Г. Е. Масленников², А. Ф. Рыжков³

^{1,2,3} Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

¹ nikitajui@mail.ru

Аннотация. В работе выполнен анализ данных, полученных при проведении экспериментов прямой карбонизации угольной золы полусухим и водным методами. Подвергнуты анализу следующие показатели: способность к улавливанию, которая представляет собой количество поглощаемого CO₂ на килограмм летучей золы, и эффективность карбонизации. Приведено сравнение экспериментальных данных, полученных рядом авторов.

Ключевые слова: CCS, CO₂, карбонизация, летучая зола, секвестрация

REVIEW OF EXPERIMENTAL STUDIES OF DIRECT CARBONATION OF COAL ASH

N. A. Simanov¹, G. E. Maslennikov², A. F. Ryzhkov³

^{1,2,3} Ural Federal University named after the First
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

¹ nikitajui@mail.ru

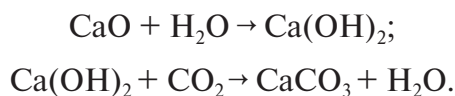
Abstract. The paper analyzes the literature data obtained during experiments on direct carbonation of coal ash by semi-dry and liquid methods. The following indicators were analyzed: the trapping capacity, which is the amount of CO₂ sequestered per kilogram of fly ash, and carbonation efficiency. Experimental data from different authors are compared.

Keywords: CCS, CO₂, carbonation, coal fly ash, sequestration

В последние годы стало очевидно, что антропогенные выбросы парниковых газов, образующиеся в результате сжигания ископаемого топлива, приводят к изменению климата и глобальному потеплению.

Основным направлением борьбы с выбросами парниковых газов является снижение выбросов CO_2 , поскольку именно углекислый газ является главным парниковым газом. Одним из вариантов решения данной проблемы является метод CCS (Carbon Capture and Storage — улавливание и хранение углерода) [1], включающий выделение CO_2 из дымовых газов промышленных и энергетических источников, его транспортировку к месту хранения и долгосрочную изоляцию от атмосферы. Существуют различные способы отделения CO_2 , среди которых перспективным является минерализация углекислого газа путем карбонизации материалов с повышенным содержанием основных оксидов: горные породы, золошлаковые отходы (ЗШО), отходы строительной индустрии и др.

Основной механизм минерализации CO_2 осуществляется в два этапа — гидратация щелочных оксидов, например оксида кальция, и их карбонизация в соответствии со следующими брутто-реакциями:



В рамках настоящей работы выполнен обзор экспериментальных данных по прямому полусухому и водному методу карбонизации.

При прямом методе оба процесса протекают в одном реакторе, что упрощает реализацию и не требует большого количества химических реагентов. Водная карбонизация обычно считается более предпочтительной [1], поскольку достигаются более высокие скорости реакции по сравнению с полусухим методом. Абсолютно сухой процесс не технологичен, т. к. в этом случае время реакции может достигать десятков лет [2]. Полусухим является процесс с отношением «жидкость — твердое» L/S в диапазоне 0,03–1,0; при $L/S > 1$ процесс называют жидким или суспензионным [1].

Эффективность процесса карбонизации (CE) определяется как отношение количества уловленного CO_2 к теоретической улавливающей способности золы (потенциалу улавливания). Потенциал улавливания может быть рассчитан с помощью стехиометрической формулы Стенуара [2]:

$$\begin{aligned}\text{CO}_2 (\%) &= 0,785 (\% \text{CaO} - 0,7 \% \text{SO}_3) + 1,09 \% \text{MgO} + \\ &+ 0,71 \% \text{Na}_2\text{O} + 0,468 \% \text{K}_2\text{O}.\end{aligned}$$

Эффективность карбонизации зависит от множества факторов: давления и температуры процесса, соотношения «жидкость — твердое»,

фракционного состава золы, ее пористости, рН среды, в которой протекают реакции и др.

На основе анализа ряда исследовательских работ [2–9] была построена диаграмма, приведенная на рис. 1, которая отображает зависимость показателя CE от соотношения L/S .

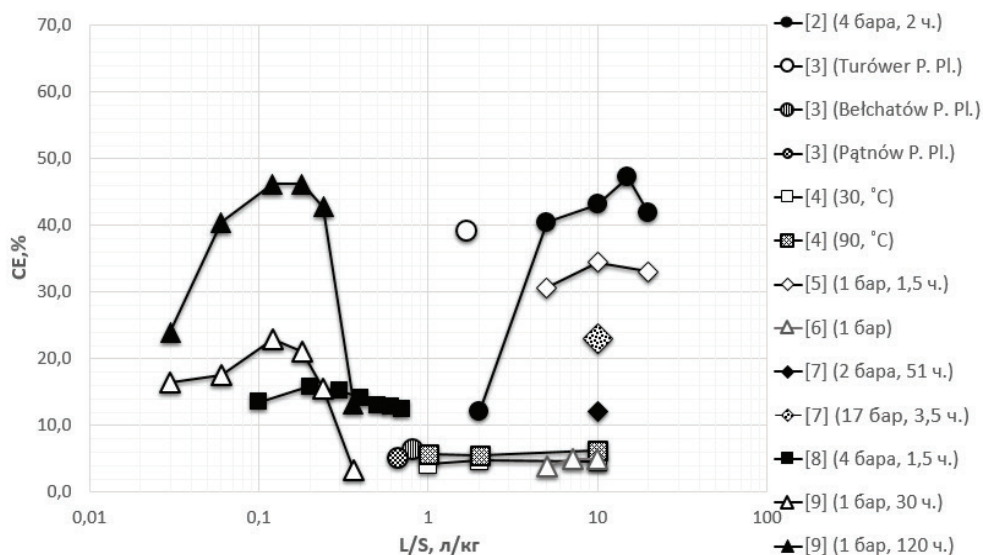


Рис. 1. Зависимость показателя CE от соотношения «жидкость — твердое» (L/S)

В результате можно обнаружить наличие двух максимумов, приходящихся на полусухую и суспензионную области. С одной стороны, те, кто начинал исследование от $L/S = 0$, доходили до максимума эффективности карбонизации при $L/S = 0,2–0,4$ и с затуханием процесса завершали исследование. С другой стороны, те, кто начинал исследование при больших $L/S > 20$, находили максимум в области $L/S = 15–20$ и также прекращали исследование. Можно сделать вывод, что сравнение эффективности карбонизации носит условный характер, а общая картина процессов карбонизации в диапазоне влагосодержаний L/S от 0 до 20–50 отсутствует.

Список источников

1. Applications of fly ash for CO_2 capture, utilization, and storage / A. Din-di [et al.] // Journal of CO_2 Utilization. 2019. Vol. 29. P. 82–102.

2. Dananjayan R. R. T., Kandasamy P., Andimuthu R. Direct mineral carbonation of coal fly ash for CO₂ sequestration // *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 112. P. 4173–4182.
3. Estimation of CO₂ sequestration potential via mineral carbonation in fly ash from lignite combustion in Poland / A. Uliasz-Bocheńczyk [et al.] // *Energy Procedia*. 2009. Vol. 1, iss. 1. P. 4873–4879.
4. Comparison of CO₂ capture by ex-situ accelerated carbonation and in in-situ naturally weathered coal fly ash / G. N. Muriithi [et al.] // *Journal of Environmental Management*. 2013. Vol. 127. P. 212–220.
5. CO₂ sequestration by direct mineralisation using fly ash from Chinese Shenfu coal / L. Ji [et al.] // *Fuel Processing Technology*. 2017. Vol. 156 P. 429–437.
6. Evaluation of factors affecting mineral carbonation of CO₂ using coal fly ash in aqueous solutions under ambient conditions / H. Y. Jo [et al.] // *Chemical Engineering Journal*. 2012. Vol. 183. P. 77–87.
7. Rendek E., Ducom G., Germain P. Carbon dioxide sequestration in municipal solid waste incinerator (MSWI) bottom ash // *Journal of Hazardous Materials*. 2006. Vol. 128, iss. 1. P. 73–79.
8. Ukwattage N. L., Ranjith P. G., Wang S. H. Investigation of the potential of coal combustion fly ash for mineral sequestration of CO₂ by accelerated carbonation // *Energy*. 2013. Vol. 52. P. 230–236.
9. Carbonation of lignite fly ash at ambient T and P in a semi-dry reaction system for CO₂ sequestration / M. Bauer [et al.] // *Applied Geochemistry*. 2011. Vol. 26, iss. 8. P. 1502–1512.