

3. Пространственное распределение химических элементов атмосферных выбросов угольной ТЭЦ / Н.К. Рыжакова, В.Ф. Рапута, Н.С. Рогова, А.Л. Борисенко, Е.А. Покровская // Экология и промышленность России. – 2013. – No. 1. – С. 52–55.
4. Микроэлементный состав снежного покрова в окрестностях угольных и газовых котельных как показатель экологичности используемого топлива / А.В. Таловская, Е.Г. Языков, Е.А. Филимоненко, Н.А. Осипова, Т.С.Шахова // Безопасность в техносфере. – 2017. – No. 3. – С. 3–12.
5. О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2020 г. // URL: [https://ako.ru/upload/medialibrary/a7b/doklad\\_2020.pdf](https://ako.ru/upload/medialibrary/a7b/doklad_2020.pdf) (дата обращения: 02.12.2022).
6. Изучение влияния условий размещения эпифитных мхов на содержание химических элементов при активном мониторинге / Н. С. Рогова [и др.] // Естественные и технические науки. – 2018. – No. 5. – С. 58–66.
7. Способ оценки загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами и другими химическими элементами с помощью эпифитных мхов: пат. Рос. Федерация, No 2011117784/28; заявл. 03.05.11; опубл. 10.10.12; Бюл. No. 28. – 12 с.
8. Погода // Gismeteo. URL: <https://www.gismeteo.ru/> (дата обращения: 03.11.2023).

## **АКТИВАЦИИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ КАМЕННОГО УГЛЯ НИТРАТОМ ЖЕЛЕЗА И ОТХОДАМИ МЕТАЛЛОПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**М.К. Шуатаев, А.Ж. Калтаев, К.Б. Ларионов, к.т.н.**

*Томский политехнический университет*

Уголь играет важную роль в мировой экономике, поскольку является ключевым энергоносителем, обеспечивающим основные объемы генерации электрической энергии [1]. Однако, его использование также остаётся одним из крупнейших источников эмиссии парниковых газов и других сопутствующих технологических проблем [2]. К настоящему времени в области каталитического сжигания угля существует множество исследований. В одном из исследований [5–7] было установлено, что оксиды металлов (такие как  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{ZnO}$  и  $\text{CuO}$ ) положительно влияют на процесс термического преобразования угля, что проявлялось в увеличении скорости реакции окисления с повышением удельного выделения количества тепла. Также было обнаружено, что добавки  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{MnO}_2$  могут ускорять процесс окисления каменного угля и антрацита с эффективным преобразованием их горючей части до  $\text{CO}_2$  [6, 8]. Механизм каталитической активации процесса горения органических топлив связан с циклом окисления и восстановления оксидов [7, 9]. Таким образом, катализатор (оксид металла) играет роль агента, обеспечивающий адсорбцию и десорбцию окислителя, что в свою очередь повышает перенос адсорбированного кислорода к углероду и способствует выгоранию выделяющихся летучих соединений и углеродного остатка.

В свою очередь рядом авторов [10–11] было установлено, что использование отходов металлопрокатных производств (металлической окалины) может способствовать к повышению реакционной способности углей, что выражается в увеличении максимальной скорости реакции процесса окисления. В т. ч. использование металлической окалины позволяет снизить концентрацию оксида азота, образующегося в процессе горения угля [10]. Также в качестве активирующих добавок также могут быть использованы прекурсоры оксидов металлов в виде нитратов, карбонатов, ацетатов и сульфатов металлов [12]. Основным эффектом использования прекурсоров оксидов металлов является усиление их активирующего действия за счет двухстадийного механизма горения угля [13], который связан с разложением соли и выделением соответствующих газофазных продуктов (стадия 1) и последующим образованием оксида металла (стадия 2). Таким образом, прекурсоры в случае их комбинирования с оксидами металлов (например, металлической окалиной) могут оказывать усиливающее воздей-

ствие на активирующие свойства добавки, как на стадии зажигания угля, так и для последующего процесса горения.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования влияния активирующих добавок, выполненных на основе отходов металлопрокатного производства (металлической окалины) и предшественников оксидов металлов (нитрат железа) на реакционную способность каменного угля.

Экспериментально установлено, что использование металлической окалины и нитрата железа приводит к повышению реакционной способности топлива, о чем свидетельствует снижение времени задержки зажигания. За счет интенсификации процесса горения были снижены топливный недожог и концентрация образующегося СО в составе газофазных продуктов горения. Помимо повышения реакционной способности твердых топлив, применение активирующих добавок способствует снижению образующегося топливного недожога и более глубокого окисления СО до СО<sub>2</sub>. Аналогичная тенденция в части уменьшения эмиссии СО была установлена также при проведении исследования процесса активируемого горения каменного угля на твердотопливном котельном агрегате.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международное энергетическое агентство: официальный сайт. – Париж. – Обновляется в течение суток. – <https://www.iea.org/energy-system/fossil-fuels/coal> (Дата обращения 09.10.2023). – Текст: Электронный.
2. Международное энергетическое агентство: официальный сайт. – Париж. – Обновляется в течение суток. – <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer> (Дата обращения 09.10.2023). – Текст: Электронный.
3. Ismagilov Z.R., Kerzhentsev M.A. Fluidized bed catalytic combustion // *Catal. Today*. – 1999. – Vol. 47(1–4). – P. 339–346.
4. Simonov A.D., Fedorov N.A., Dubinin Yu.V. et al. Catalytic heat-generating units for industrial heating // *Catal. Ind.* – 2013. – Vol. 5(1). – P. 42–49.
5. Gong X., Zhancheng G., Zhi W. Reactivity of Pulverized Coals during Combustion Catalyzed by CeO<sub>2</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> // *Combustion and Flame*. – 2010. – Vol. 157 (2). – P. 351–356. doi:10.1016/j.combustflame.2009.06.025.
6. Ma B.-G., Li X.-G., Xu L., Wang K., Wang X.-G. Investigation on catalyzed combustion of high ash coal by thermogravimetric an
7. Cheng J., Zhou F., Xuan X., Liu J., Zhou J., Cen K. Comparison of the catalytic effects of eight industrial wastes rich in Na, Fe, Ca and Al on anthracite coal combustion // *Fuel*. – 2017. – Vol. 187. – P. 398–402. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.09.083>.
8. Zou C., Wen L., Zhang S., Bai C., Yin G. Evaluation of catalytic combustion of pulverized coal for use in pulverized coal injection (PCI) and its influence on properties of unburnt chars // *Fuel Process Technol.* – 2014. – Vol. 119. – P. 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2013.10.022>.
9. Cheng J., Zhou F., Xuan X., Liu J., Zhou J., Cen K. Comparison of the catalytic effects of eight industrial wastes rich in Na, Fe, Ca and Al on anthracite coal combustion // *Fuel*. – 2017. – Vol. 87. – P. 398–402. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.09.083>.
10. Zhang H., Dou B., Li J., Zhao L., Wu K. Thermogravimetric kinetics on catalytic combustion of bituminous coal // *J Energy Inst.* – 2020. – Vol. 93. – P. 2526–2535. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2020.08.012>.
11. Lei Z., Liu M., Yan J., Chun T., Fang J., Li Z., et al. Catalytic combustion of coke nuts and in-situ NO reduction under the action of steel scale // *Fuel*. – 2021. – Vol. 289. – P. 119779. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119779>.
12. Zou C., Zhao J. Investigation of iron-containing powder on coal combustion behavior // *J Energy Inst.* – 2017. – Vol. 90. – P. 797–805. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2016.06.004>.
13. Larionov K.B., Berezikov N.I., Kaltaev A.Zh. Gorshkov A.S. Using Metal Carbonates to Intensify Coal Ignition and Combustion // *Coke Chem.* – 2022. – Vol. 65. – P. 167–173.