

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ СЖИГАНИЯ СУСПЕНЗИОННЫХ УГОЛЬНЫХ ТОПЛИВ С ПРИМЕСЬЮ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Г.С. Няшина

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор исследовательской школы физики  
высокоэнергетических процессов П.А. Стрижак

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Человечество в результате своей жизнедеятельности оказывает значительное влияние на состояние окружающей среды. Особую опасность представляет высокий уровень загрязнения атмосферы в результате выбросов промышленными объектами и автомобильным транспортом отравляющих веществ [1,12].

Угольные, нефтяные и газовые электростанции являются основными источниками электроэнергии во всем мире [4,10]. Конечно, существуют альтернативные источники энергии, такие как солнечные, ветровые и гидроэлектростанции, однако, они способны покрыть лишь небольшой процент от всего спроса на электроэнергию большинства стран. В настоящее время около 90% энергии вырабатывается путем сжигания ископаемого топлива, и только около 10% производится из возобновляемых источников энергии [4,10]. Широкое использование ископаемого топлива привело к глобальному загрязнению окружающей среды и изменению климата, а также к проблемам экологической деградации и опасности для здоровья и жизни людей [4,10].

Для снижения экологической нагрузки на окружающую среду сегодня проводится большое количество исследований в направлении смешения растительного и угольного топлива [5,8]. Преимущества совместного сжигания угольного топлива с растительной биомассой для производства энергии заключаются в использовании возобновляемых источников энергии с низким уровнем затрат и риска, вовлечении в процессы генерации энергии неиспользуемых отходов, сокращении выбросов в атмосферу, увеличении занятости в местных районах и снижении внешних факторов, связанных со сжиганием ископаемых видов топлив [5,8].

Одним из перспективных направлений совместного использования растительного топлива и угля является создание на их основе композиционных жидких (КЖТ), водоугольных (ВУТ) и органоводоугольных (ОВУТ) топлив, внедрение которых обеспечит сбережение энергетических и материальных ресурсов, а также окружающей среды [2,6,11]. В качестве угольной горючей составляющей могут использоваться низкосортные угли, угольные шламы и отсева, отходы углеобогачительных фабрик (фильтр-кеки), применение которых является наиболее эффективным и экологически чистым методом утилизации тонких угольных шламов угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий [2,6,11].

Цель настоящей работы – экспериментальное определение влияния растительных добавок в виде соломы, отходов подсолнечника и водорослей на концентрации антропогенных выбросов при сжигании суспензионных угольных топлив, приготовленных на основе отходов угле – и нефтепереработки.

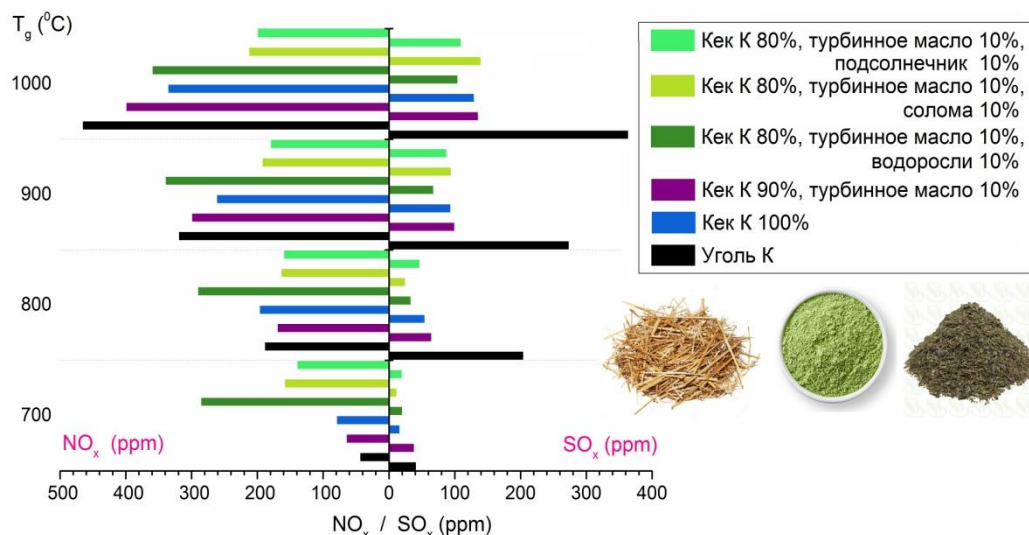
Для оценки количества газообразных выбросов, образующихся при горении углей, отходов углеобогащения, а также перспективных суспензий ВУТ и ОВУТ, использовался стенд, аналогичный представленному в [2]. Основными элементами экспериментальной установки являются камера сгорания, представляющая собой трубчатую муфельную печь, и газоанализатор (измерительные каналы: O<sub>2</sub> (диапазон 0–21%, доп. погрешность 0,1 %), CO (диапазон 0–10000 ppm, доп. погрешность 100 ppm), CO<sub>2</sub> (диапазон 0–20 %, доп. погрешность 0,1 %), NO<sub>x</sub> (диапазон 0–2000 ppm, доп. погрешность 10 ppm), SO<sub>x</sub> (диапазон 0–2000 ppm, доп. погрешность 10 ppm)). Применение муфельной печи обеспечивает возможность создания воздушной среды с широким диапазоном температур (700–1000 °C) [2].

На рис. 1 представлены концентрации основных антропогенных выбросов (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>), образующиеся при сжигании, водоугольного (фильтр-кек) топлива в сравнении с органоводоугольными суспензиями (с дополнительными растительными примесью) и углем в чистом виде.

Экспериментально установлено, что за счет присутствия частиц водорослей и подсолнечника в суспензиях ОВУТ, снижаются концентрации газообразных выбросов SO<sub>x</sub> (Fig. 1a.). В процессе термохимической конверсии (сжигания) высвобождаются соединения щелочных и щелочноземельных металлов, присутствующих в большом количестве в растительных отходах [3,7,9]. Данные соединения вступают в реакции с окислами серы (например, 2CaO+2SO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>=2CaSO<sub>4</sub>) и образуются вещества, которые остаются в угольной золе и вносят вклад в реакции удержания серы за счет абсорбции серного газа. Добавка 10% измельченной соломы также способствовала значительному снижению окислов серы в диапазоне температур от 700 до 850 °C, на данном интервале концентрации SO<sub>x</sub> не превышают 60 ppm. В области высоких температур (более 900 °C) наблюдается резкое повышение концентраций до уровня 130 ppm, что сопоставимо с выбросами, образующимися при сгорании ОВУТ без растительной добавки.

На рисунке 1б проиллюстрировано положительное влияние присутствия 10% частиц соломы или подсолнечника в суспензиях ОВУТ на процессы формирования окислов азота при их сжигании. Концентрации выбросов NO<sub>x</sub> для обоих составов очень близки, разница в значениях лежит в пределах погрешности. Данный факт можно объяснить схожими характеристиками элементного и технического анализа добавок [3,9]. Таким образом, при использовании соломы или отходов подсолнечника выбросы NO<sub>x</sub> снизились более чем в 2 раза, причем с ростом температуры данный эффект усиливается. Среди всех рассматриваемых растительных добавок 10% водорослей оказали самое благоприятное влияние на выход окислов азота при сжигании суспензий. Высокое содержание азота в водорослях в совокупности с высоким значением летучих приводит к образованию большего количества окислов азота [7].

## СЕКЦИЯ 12. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



**Рис. 1. Экспериментальные зависимости концентраций  $NO_x$  и  $SO_x$  от температуры в муфельной печи при варьировании вида растительных отходов в суспензиях ОБУТ.**

Выполненные эксперименты показали, что для суспензии ОБУТ на основе фильтр-кека и отработанного турбинного масла с примесью растительных частиц экологические показатели сжигания лучше, чем для угля. Концентраций окислов серы для всех рассматриваемых добавок лежат в одном диапазоне (10-130 ppm) и обеспечивают снижение выбросов  $SO_x$  по сравнению с углем на 60–80%. При использовании соломы и отходов подсолнечника оксиды азота могут быть снижены на 5–60%.

Таким образом, совместное сжигание растительных отходов и продуктов угле-и нефтепереработки можно рассматривать не только как способ снижения количества антропогенных выбросов, производимых энергетическим сектором, но и как эффективный способ утилизации промышленных отходов. Сводятся к минимуму их объем отходов, которые должны быть переработаны, снижается необходимость добывать полезные ископаемые и другие ресурсы для производства энергии.

Исследование выполнено за счет средств Российского научного фонда (проект № 15-19-10003).

### Литература

- Bär R., Rouholahnejad E., Rahman K., Abbaspour K.C., Lehmann A. Climate change and agricultural water resources: A vulnerability assessment of the Black Sea catchment//Environ. Sci. Policy. – 2015. – V. 46. – P. 57-69.
- Dmitrienko M.A., Nyashina G.S., Strizhak P.A. Environmental indicators of the combustion of prospective coal water slurry containing petrochemicals// J. Hazard. Mater. – 2017. – 338. – P. 148–159.
- Duan F., Chyang C., Zhang L., Yin S. Bed agglomeration characteristics of rice straw combustion in a vortexing fluidized-bed combustor//Bioresour. Technol. – 2015. – V. 183. – P. 195–202.
- Farfan J., Breyer C. Structural changes of global power generation capacity towards sustainability and the risk of stranded investments supported by a sustainability indicator//J. Cleaner Prod. – 2017. – V. 141. – P. 370–384.
- Gil M.V., Pevida C., Pis J.J., Rubiera F. Thermal behaviour and kinetics of coal/biomass blends during co-combustion //Bioresour. Technol. – 2010. – V. 101. – I. 14. – P. 5601–5608.
- Glushkov D.O., Strizhak P.A. Ignition of composite liquid fuel droplets based on coal and oil processing waste by heated air flow//J. Cleaner Prod. – 2017. – V. 165. – P. 1445–1461.
- Kawnish K., Sankar B. Pyrolysis kinetics and reactivity of algae-coal blends//Biomass bioenergy. – 2013. – V. 55. – P. 291-298.
- Liu W., Wang J., Bhattachary D., Jiang Y., David DeVallance. Economic and environmental analyses of coal and biomass to liquid fuels//Energy. – 2017. – V.141. – P. 76–86.
- Raclavska H., Juchelkova D., Roubicek V., Matysek D. Energy utilisation of biowaste – Sunflower-seed hulls for co-firing with coal// Fuel Process. Technol. – 2011. – V. 92. – P. 13–20.
- Su F., Itakura K., Deguchi G., Ohga K., Monitoring of coal fracturing in underground coal gasification by acoustic emission techniques//Appl. Energy. – 2017. – V. 189. – P. 142–156.
- Yun Z., Wu G., Meng X., Zhang Y., Shi F., He Y., Luo X. A comparative investigation of the properties of coal-water slurries prepared from Australia and Shenhua coals// Min. Sci. Technol. (China). – 2011. – V. 21. – I. 3. – P. 343–347.
- Zhang Y., Shen J., Ding F., Li Y., He L. Vulnerability assessment of atmospheric environment driven by human impacts //Sci. Total Environ. – 2016. – V. 571. – P. 778–790.