

5. Conductive two-dimensional titanium carbide ‘clay’ with high volumetric capacitance / Ghidui M. et al. // *Nature*. – 2014. – V. 516.
6. Two-dimensional titanium carbide electrode with large mass loading for supercapacitor / Lin S.Y., Zhang X. // *J. Power Sources*. Elsevier, – 2015. – V. 294. P. 354-359.
7. Wood-derived ultra-high temperature carbides and their composites: A review / Yu M., Zhang G., Saunders T. // *Ceram. Int*. Elsevier. – 2020. – V. 46. No. 5. P. 5536–5547.
8. Mechanical modelling of wood microstructure, an engineering approach / Astley R.J., Harrington J.J., Stol K.A. // *Trans. Inst. Prof. Eng. New Zeal. Electr. Eng. Sect.* – 1997. – V. 24. No. 1. P. 21-29.
9. Mechanical Properties of Wood/ Kretschmann D.E. // *Wood Handbook – Wood as an engineering material* – 2010. P. 49.

Работа выполнена при поддержке программы Государственного задания ВУЗам (проект № FSWW-2022-0018).

Научный руководитель: к.т.н. А.Я. Пак, доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОФРАКЦИОННОГО СЖИГАНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

А.К. Пронин

Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа А0-44

Среди всех источников энергии, используемых для выработки электроэнергии, наибольшую долю в настоящее время составляет уголь ($\approx 37\%$). В последние годы наблюдается тренд на снижение доли угля в производстве электроэнергии, однако темп снижения довольно низкий (с 2007 по 2019 года доля угля сократилась на 3 %) [1]. Доминирующей технологией выработки электроэнергии из угля является сжигание пылевидного топлива. Поэтому улучшение экономических и экологических показателей работы пылеугольных котельных агрегатов ещё долгое время будет актуальной задачей.

Горение пылевидного твердого топлива является комплексным физико-химическим процессом. Поэтому зачастую воздействие на отдельные параметры топочного процесса с целью улучшения определенных эксплуатационных характеристик котельного агрегата приводит к ухудшению некоторых других. Например, широко применяемые технологии снижения выбросов NO_x путем снижения температурного уровня в топке либо снижения концентрации кислорода в зоне горения (впрыск влаги, ступенчатый ввод воздуха в топку, ступенчатый ввод топлива в топку и др.) создают опасность повышения потерь тепла с химическим и механическим недожогом, что понижает экономичность котельного агрегата [2]. В противоположность перечисленным технологиям, пофракционное сжигание пылеугольного топлива, которое заключается в разделении полифракционной пыли на фракции разного размера с последующим сжиганием их в различных условиях, имеет потенциал для одновременного снижения выбросов NO_x и уменьшения потерь тепла с химическим и механическим недожогом [3].

Для оценки эффективности применения пофракционного сжигания пылеугольного топлива было проведено численное моделирование процесса горения пылеугольного топлива с использованием программного пакета ANSYS FLUENT. Моделирование проводилось для березовского угля (таблица 1) в топочной камере парового котла БКЗ-210-140Ф – с угловым расположением щелевых многопоточных горелок (рисунок 1).

Таблица 1. Теплотехнические характеристики и элементный состав топлива

Теплотехнические характеристики				Элементный состав (% _{daf})				
W ^r (%)	A ^r (%)	V ^{daf} (%)	Q _r ^r (МДж/кг)	C	H	N	S	O
33	4,7	48	15,5	70,95	4,98	0,64	0,32	23,11

Горение угольной пыли в топочной камере смоделировано как двухфазная турбулентная система течений, состоящая из газовой и твердой фаз. Для газовой фазы определение осредненных во времени уравнений сохранения движения, энергии и концентраций компонентов выполнены Эйлеровым подходом. Для твердой фазы траектории частиц были получены с помощью модели случайного блуждания частиц Лагранжевым подходом.

Остальные физические подмодели, включенные в численную модель, представлены в таблице 2 [4, 5].

Таблица 2. Численные модели

Физический процесс	Модель
Турбулентность	Реализуемая k-ε
Теплообмен излучением	Модель дискретных ординат и взаимодействие частиц с излучением
Выход летучих	Одностадийная модель по уравнению Аррениуса
Гомогенное горение с учетом влияния турбулентности	Комбинация кинетической модели горения газовых компонент с моделью «обрыва вихря»
Гетерогенное горение	Диффузионно-кинетическая модель
Образование NO _x	Термические и топливные

Тонкость измельчения топлива была задана распределением Розина-Раммлера. Значения параметров распределения взяты для мельницы-вентилятора с промышленных данных по работе на березовском угле [6]. Моделировалось 10 фракций угольной пыли (по 10 % массы в каждой) разного размера со средним размером частиц в этой фракции. Граничные условия для модели были взяты с промышленных данных по работе на березовском угле [7].

Моделирование проводилось для 3 вариантов.

1. Заводская компоновка горелок (рисунок 1), через каналы которых подавались все 10 фракций угольной пыли.
2. Горелки разделены по высоте пополам. Расстояние между верхним и нижним ярусами горелок 1 метр (рисунок 2а). В горелки верхнего яруса подавались 5 “мелких” фракций угольной пыли, а в горелки нижнего – 5 “крупных”.
3. Горелки разделены по высоте пополам. Расстояние между верхним и нижним ярусами горелок 2 метра (рисунок 2б). В горелки верхнего яруса подавались 5 “мелких” фракций угольной пыли, а в горелки нижнего – 5 “крупных”.

Результаты численного моделирования (степень выгорания коксового остатка и концентрация NO_x на выходе из топки) для всех вариантов расчетов представлены в таблице 3.

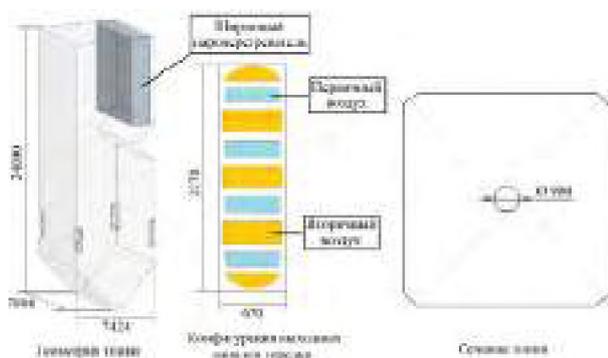


Рис. 1. Эскиз топочной камеры (размеры в мм)

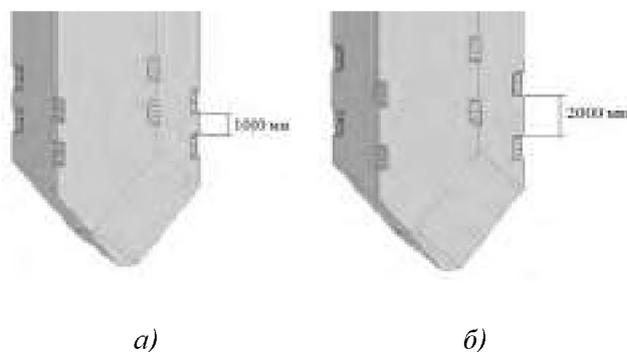


Рис. 2. Компоновка горелок для пофракционного сжигания угольной пыли

Таблица 3. Результаты расчетов

Вариант расчета	Степень выгорания коксового остатка, %	Концентрация NO _x на выходе из топки, мг/м ³
Заводская компоновка горелки со сжиганием полифракционной пыли	98,01	162
Расстояние между ярусами горелок 1 метр с разделением фракций по ярусам	99,44	151
Расстояние между ярусами горелок 2 метра с разделением фракций по ярусам	99,59	146

Из представленных результатов видно, что разделение полифракционной угольной пыли на “крупную” и “мелкую” фракции, с последующим введением их в топку на разной высоте приводит к увеличению степени выгорания коксового остатка на 1,43÷1,58 % и одновременному снижению концентрации NO_x на выходе из топки на 6,8÷9,9 %. Таким образом применение пофракционного сжигания пылеугольного топлива может эффективно применяться для уменьшения потерь тепла с механическим недожогом и некоторого снижения выбросов NO_x.

ЛИТЕРАТУРА:

1. IEA online data services. Renewables information // IEA. URL: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity> (дата обращения 10.11.2022).
2. Котлер В.Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.
3. Пронин А.К. Предпосылки для применения пофракционного сжигания пылеугольного топлива // Бутаковские чтения: материалы I Всероссийской с международным участием молодежной конференции. – Томск: Томский политехнический университет, 2021. – С. 317-320.
4. Ranade V.V., Gupta D.F. Computational modeling of pulverized coal fired boilers. – Boca Raton: CRC Press, 2014. – 288 p.
5. FLUENT Theory Guide, Version 17.2. – Canonsburg, PA, ANSYS, Inc., 2016. – 812 p.
6. Маршак Ю.Л., Сучков С.И., Дик Э.П., Рубин М.М., Гончаров А.И., Конопелько И.П. и др. Исследование сжигания малозольного березовского угля в низкотемпературной тангенциальной топочной камере // Теплоэнергетика – 1981. – № 7. – С. 9-14.
7. Маршак Ю.Л., Козлов С.Г., Дик Э.П., Сучков С.И., Слепухова В.А. Шлакование топочной камеры при сжигании березовского угля // Теплоэнергетика – 1980. – № 1. – С. 16-22.

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.С. Заворин, профессор НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

МОДИФИКАТОР ГОРЕНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ

А.В. Губин, К.Б. Ларионов
Томский политехнический университет

На данный момент, несмотря на активное развитие возобновляемых источников энергии, в различных странах уголь является одним из основных дешевых и наиболее распространенных видов топлив. По данным ВР, потребление угля в 2021 году выросло более чем на 6 % [1]. Несмотря на рост спроса традиционных видов топлив, при их сжигании образуются вредные выбросы, которые пагубно влияют на окружающую среду. При сгорании топлива в избытке воздуха и при высоких температурах, создаются вредные продукты, такие как оксиды азота [2].