

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Statistical review of world energy // Energy institute. 2024. – URL: <https://www.energyinst.org/statistical-review> (дата обращения 15.11.2024)
2. Бойко Е.А., Бобров А.В., Пачковский С.В. и др. Риск-ориентированное управление техническим состоянием технологического оборудования тепловых электростанций. – Красноярск: СФУ, 2021. – С. 19–2.
3. Бойко Е.А., Лебедев К.В. Система диагностики и управления техническим состоянием объектов теплоэнергетики на основе цифровых двойников // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2024. – № 3. – С. 74–85.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО ВЫГОРАНИЯ

С.А. Пузырёв

Томский политехнический университет, ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5ВМ31

Научный руководитель: А.В. Гиль, к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова, ИШЭ, ТПУ

Оксиды азота при сжигании топлива образуются из азота, входящего в состав топлива, и из азота воздуха [1]. Наибольшее влияние на образование оксидов оказывает максимальная температура горения. По длине факела концентрация оксидов возрастает от начала зоны горения до области с максимальными температурами, затем остаётся практически неизменной.

Эмиссия оксидов азота существенно зависит от условий смесеобразования. Факел вихревой горелки характеризуется быстрым воспламенением и высокой интенсивностью сгорания благодаря эффективному смешиванию топлива с воздухом, а также высоким температурам, что приводит к образованию значительного количества оксидов азота на начальном участке факела. В таком факеле выделяются как топливные, так и термические NO_x , причём доля термических увеличивается с повышением температуры [2].

Прямоточная горелка, в отличие от вихревой, обладает большей длиной факела, меньшими максимальными температурами и более равномерным распределением температур вдоль факела. В таких системах воспламенение происходит снаружи пылевоздушной струи, что ведёт к сгоранию большинства летучих веществ в среде, обеднённой кислородом.

Расчёт выгорания пылеугольного факела и объём топочной камеры по условиям горения может быть выполнен как для одномерного факела, по методике ЦКТИ. В таком случае принимается, что в полидисперсном пылеугольном факеле частицы равномерно распределены в потоке и равномерно распределена температура, скорость и концентрации пыли в сечении факела [2].

Численные исследования позволяют более детально рассмотреть физико-химические процессы при анализе различных фракционных составов топлива путём решения системы дифференциальных уравнений и определить наиболее оптимальный вариант фракционного состава топлива.

Поскольку, при подготовке исходного топлива к пылеугольному сжиганию в факеле горят частицы, размеры которых отличаются друг от друга, то в топочной камере сжигается полифракционная пыль [3].

Для осуществления анализа влияния изменения фракционного состава топлива на характеристики горения угля в топке энергетического котла при его изменении в диапазоне R_{90} от 8 до 28 % с шагом в 2 % определялось зерновое распределение с применением уравнения Розина–Раммлера [4]. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Расчётная зерновая характеристика топлив

R ₉₀ , %	R ₂₀₀ , %	n	R ₅₀₀ , %	R ₁₀₀ , %	R ₅₀ , %	R ₂₅ , %	R ₅ , %
8	0,8	0,81	0,004	6,39	20,78	40,75	78,29
10	1,42	0,77	0,02	8,24	23	42,14	77,7
12	2,04	0,76	0,04	10,6	25,7	44,76	78,84
14	2,66	0,76	0,06	11,87	28,5	47,72	80,53
28	7	0,92	0,21	24,6	47,6	67,52	91,4

При помощи программного комплекса FIRE 3D, на основе геометрических данных топки с прямоточными горелками, построена сетка для 3D-модели топочной камеры парового котла. Далее, выполнены расчёты пространственной аэродинамики горения угля в топке энергетического котла при изменении фракционного состава топлива в диапазоне R₉₀ от 8 до 28 % с шагом в 2 %. Полученные результаты расчётов визуализированы.

Изменение гранулометрического состава отражается различным образом в зависимости от компоновки и типа горелочных устройств. Для котла с прямоточными горелками, где R₉₀ равен 8 и 10 %, во фракционном составе топлива преобладает тонкоизмельчённая пыль. В таком случае, факел обладает большой протяжённостью и достаточно равномерным распределением температур, рис. 1 и 2.

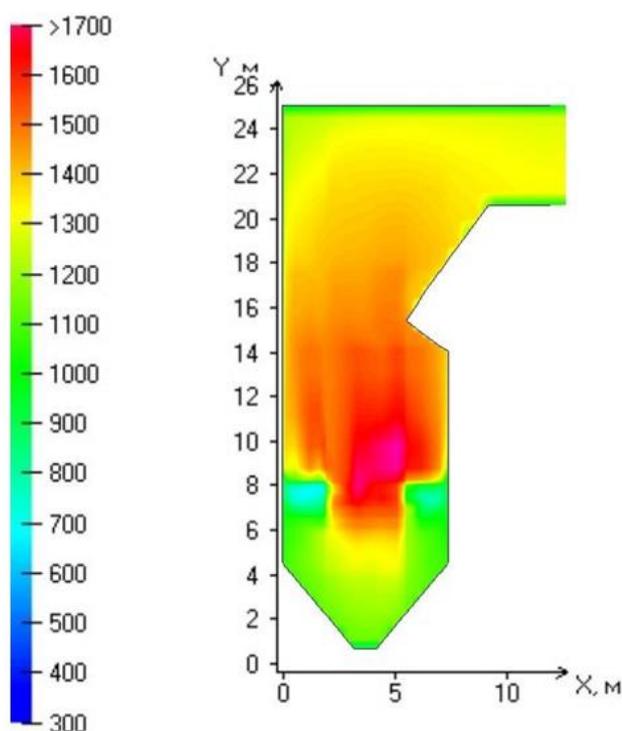


Рис. 1. Распределение температуры в топке котла при R₉₀ = 8 %

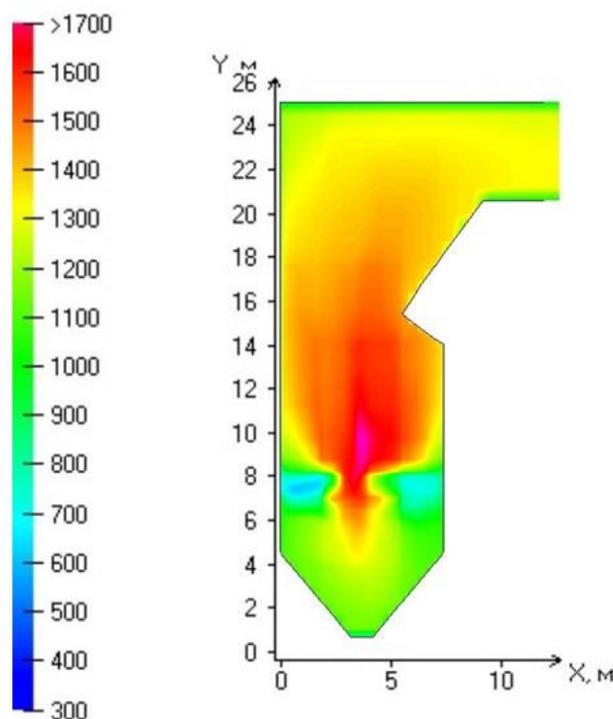


Рис. 2. Распределение температуры в топке котла при R₉₀ = 10 %

Изменение гранулометрического состава главным образом влияет на реакционную способность пылеугольного факела. С угрублением зернового состава топлива при сжигании в котле с тангенциальным угловым расположением горелок происходит изменение аэродинамики в нижней части топки и сужение факела по высоте, рис. 3–5.

Из графика, рис. 6, видно, что область максимальной температуры наблюдается прямо над уровнем яруса горелок.

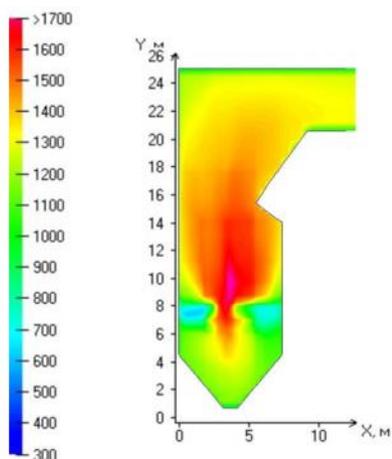


Рис. 3. Распределение температуры в топке котла при $R_{90} = 14\%$

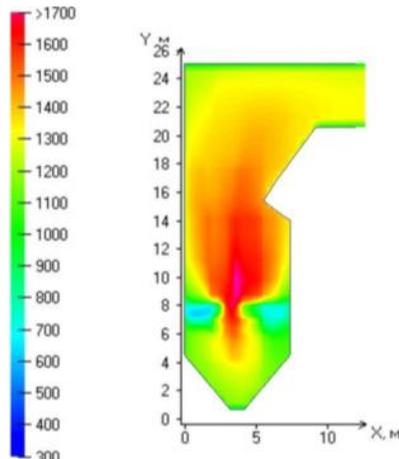


Рис. 4. Распределение температуры в топке котла при $R_{90} = 18\%$

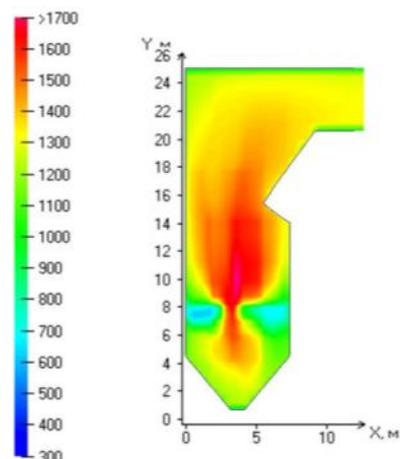


Рис. 5. Распределение температуры в топке котла при $R_{90} = 28\%$

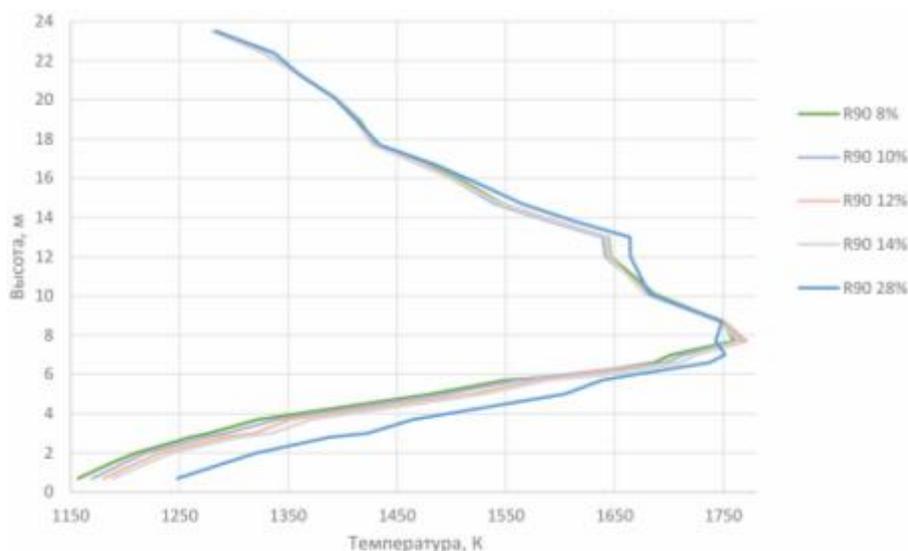


Рис. 6. Зависимость максимальной температуры от высоты в топке котла с прямоточными горелками

Таким образом, исследование влияния изменения зернового состава на температурный режим и аэродинамику в котле с тангенциальным расположением горелочных устройств в топочной камере, при использовании численного моделирования, позволило определить снижение пылеугольного факела по высоте топки и выявить область максимальных температур.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00274, <https://rscf.ru/project/23-29-00274/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хзмалян Д.М. Теория горения и топочные устройства. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.
2. Методические указания по проектированию топочных устройств энергетических котлов / ред. Э.Х. Вербовецкий, Н.Г. Жмерик. – СПб.: ВТИ-ЦКТИ, 1996. – 270 с.
3. Справочник по пыли- и золоулавливанию: 2-е изд. изд. / М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков, И.И. Урбах, А.А. Русанов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
4. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. – СПб.: Химия, 1974. – 280 с.