

ЛИТЕРАТУРА:

1. International Energy Agency, Key World energy statistics <https://www.connaissancedesenergies.org/>; 2019 [accessed: December 6, 2019].
2. Nyashina, G.S., Vershinina, K.Y., Shlegel, N.E., Strizhak, P.A. Effective incineration of fuel-waste slurries from several related industries // Environmental Research, 2019, 176.
3. Munir, S., Nimmo, W., Gibbs, B.M., The effect of air staged, co-combustion of pulverised coal and biomass blends on NOx emissions and combustion efficiency // Fuel, 90 (2011) pp. 126 – 135.
4. Ren X, Sun R, Meng X, Vorobiev N, Schiemann M and Levendis A. Carbon, sulfur and nitrogen oxide emissions from combustion of pulverized raw and torrefied biomass // Fuel, 188 (2017), 310–323.
5. Coal Information: Overview (2017 edition), Energy Efficiency Indicators Highlights, <https://webstore.iea.org/energy-efficiency-indicators-2017-highlights>; 2017 [accessed: January 21, 2020].
6. Jan Ilavsky, Milan Oravec Utilization of biomass in Slovakia // Ecological Engineering, 16 (2000), pp. 83 – 89.
7. Kuznetsov, G.V., Yankovskii, S.A., Conditions and Characteristics in Ignition of Composite Fuels Based on Coal with the Addition of Wood Thermal Engineering, 66 (2) (2019), pp. 133 - 137.
8. J. Rianza, Oxy-fuel combustion of coal and biomass blends Energy, 41 (2012), pp. 429 – 435.
9. Z. Gogebakan, Y. Gogebakan, N. Selçuk, Co-Firing of Olive Residue with Lignite in Bubbling FBC, Combust Sci Technol, 180 (2008), pp. 854 – 868.
10. R.B. Tabakaev, I. Kanipa, A.V. Astafev, Y.V. Dubinin, N.A. Yazykov, A.S. Zavorin, V.A. Yakovlev, Thermal enrichment of different types of biomass by low-temperature pyrolysis // Fuel, 245 (2019), pp. 29–38.
11. S.A. Yankovsky, G.V. Kuznetsov, Physicochemical Transformations of Mixed Fuels Based on Typical Coals and Wood upon Heating, Solid Fuel Chem, 53 (2019), pp. 22-28, 10.1134/S0023117719010080.

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

ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПОФРАКЦИОННОГО СЖИГАНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

А.К. Пронин

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

В настоящее время порядка 40% мировой электроэнергии вырабатывается за счет сжигания пылеугольного топлива. Общественные организации и ученые во всем мире уделяют большое внимание выбросам загрязняющих веществ от

сжигания угля, а также выбросам CO_2 . Поэтому повышение эффективности и экологичности сжигания пылеугольного топлива является актуальной задачей.

Сжигание твердого топлива в реализованных на практике системах включает сложное взаимодействие физических и химических явлений, которые все влияют на эксплуатационные характеристики котельного агрегата: выбросы NO_x и SO_x , выбросы твердых частиц и сажи, шлакование поверхностей нагрева, а также потери топлива с механическим и химическим недожогом.

Для борьбы с выбросами NO_x были разработаны и широко применяются технологии со ступенчатым вводом воздуха в топку и ступенчатым вводом топлива в топку.

В основе данных технологий, и многих других, лежит принцип воздействия на параметры топочного процесса: температура, концентрация кислорода и время пребывания горящих частиц топлива в отдельных зонах [1]. Однако эти технологии имеют и свои недостатки. Применение способов снижения выбросов оксидов азота за счет уменьшения концентрации кислорода создает опасности появления продуктов химического недожога (CO также является опасным загрязнителем атмосферы), и повышения потерь топлива с химическим и механическим недожогом [2].

Известно, что размер частиц оказывает значительное влияние на все этапы процесса горения частиц твердого топлива [3]. Однако в широко применяемых технологиях сжигания твердого топлива этот факт используется очень ограниченно.

В механизме горения угольной частицы выделяют 3 основных этапа: нагревание и образование летучих веществ (1), воспламенение и сгорание летучих веществ (2), а также воспламенение и сгорание коксового остатка (3) [3, 4].

Воспламенение и сгорание коксового остатка (этап 3) обычно происходит намного медленнее, чем остальные стадии, и может составлять до 90% всего времени, необходимого для выгорания угольной частицы [5, 6].

Сгорание коксового остатка лимитируется химической кинетикой при низкой температуре ($<600^\circ\text{C}$), диффузией кислорода по порам при умеренной температуре ($600\div 800^\circ\text{C}$) и диффузией кислорода из внешней среды к поверхности частицы при высокой температуре ($>800^\circ\text{C}$). Указанные температурные границы трех зон являются приблизительными и зависят как от природы угля-прекурсора, так и от размера частиц коксового остатка [5].

Эксперименты, проведенные при условиях, характерных для пылеугольных топок, показали, что кинетический режим горения наблюдается лишь для очень мелких частиц топлива. А время выгорания коксового остатка в диффузионном режиме прямо пропорционально квадрату начального диаметра частицы и обратно пропорционально концентрации кислорода в газовой фазе [3, 4].

При подготовке исходного топлива существующими методами (дробление, мельничный размол) в факеле горят частицы, размеры которых отличаются друг от друга на один-два порядка, т. е. в топочной камере сжигается полифракционная пыль. Соответственно время выгорания мелких частиц на порядки меньше, чем время выгорания крупных. Имея это в виду, можно сделать вывод о том, что при горении полидисперсной пыли сначала реагируют в основном

мелкие частицы, а крупные частицы вступают в процесс реагирования после некоторой задержки в условиях, обедненных кислородом. Этот тезис можно обосновать результатами работы [7], где было проведено экспериментальное исследование выгорания угольной пыли разных фракций в топке.

Из результатов, полученных в работе [7], следует, что для полифракционной угольной пыли:

1. чем меньше средний размер фракции пыли, тем быстрее она воспламеняется и выгорает на начальном участке факела;
2. чем меньше количество мелкой фракции пыли, тем быстрее выгорает крупная после воспламенения;
3. величина механического недожога определяется количеством крупной фракции пыли.

Таким образом сжигание полифракционной угольной пыли обладает следующим существенным недостатком. Так как в начале факела мелкие частицы топлива быстро сгорают и потребляют значительную часть кислорода, крупные частицы топлива, определяющие неполноту сгорания, горят в обедненной кислородом атмосфере (и вдобавок в области понижающейся температуры). Все это затягивает горение [6]. Устранить этот недостаток можно при помощи технологии пофракционного сжигания твердого топлива, которая заключается в разделении полифракционной пыли на фракции разного размера с последующим сжиганием их в различных условиях.

Заслуживает внимания аспекты влияния равномерности помола твердого топлива на процессы в пылеугольном факеле, так как при разделении полифракционной пыли на фракции разного размера, равномерность помола каждой будет выше, чем у исходной общей фракции. Так расчетными исследованиями установлено, что увеличение равномерности помола топлива приводит к снижению механического недожога [8].

Основываясь на принципе пофракционного сжигания, была, например, разработана технология ввода пылевидного топлива различной крупности на разных расстояниях от выходного сечения топки [9]. При такой организации топочного процесса минимизируются габариты топки и сокращаются выбросы оксидов азота. Как за счет снижения максимальной температуры в ядре горения, так и за счет снижения концентрации кислорода в зоне горелок верхних ярусов.

Таким образом применение пофракционного сжигания пылеугольного топлива имеет большой потенциал применения для снижения выбросов NO_x , уменьшения потерь топлива с механическим недожогом и минимизации габаритов топки. Также возможно и комбинирование данной технологии с другими широко применяемыми технологиями сжигания пылеугольного топлива. Наиболее перспективными для комбинирования являются технологии, в которых применяется зонирование топки, такие как: ступенчатый ввод воздуха в топку и ступенчатый ввод топлива в топку.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Kremer H., Mechenbier R., Schulz W. Staged combustion of pulverized coal // Fundamentals of the physical-chemistry of pulverized coal combustion. - Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1987.- P. 304-320.
2. Котлер В.Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов. - М.: Энергоатомиздат, 1987.- 144 с.
3. Jüntgen H. Coal characterization in relation to coal combustion // Fundamentals of the physical-chemistry of pulverized coal combustion. - Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1987.- P. 4-58.
4. Бабий В.И., Куваев Ю.Ф. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела. - М.: Энергоатомиздат, 1986.- 208 с.
5. Prado G., Froelich D., Lahaye J. Heterogeneous combustion of residual coke particle // Fundamentals of the physical-chemistry of pulverized coal combustion. - Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1987.- P. 219-244.
6. Основы практической теории горения // Померанцев В.В., Арефьев К.М., Ахмедов Д.Б. и др.- Л.: Энергоатомиздат, 1986.- 312 с.
7. Abbas T., Costa M., Costen P., Godoy S., Lockwood F.C., Ou J.J., Romo-Millares C., Zhou J. NO_x formation and reduction mechanisms in pulverized coal flames // Fuel.- 1994.- N 73.- P. 1423-1436.
8. Виленский Т.В., Хзмалян Д.М. Динамика горения пылевидного топлива. – М.: Энергия, 1977.- 248 с.
9. А.С.1580114 СССР. Пылеугольная топка / Заворин А.С., Некряч Е.Н., Курганов А.К. - № 4430006/24-06; Приоритет 25.05.88; Опубл.23.07.90.

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

МОДЕРНИЗАЦИЯ УГОЛЬНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА В УСЛОВИЯХ ЧЕТВЕРТОГО ЭНЕРГОПЕРЕХОДА

А.Э. Риф, В.В. Цветкова, А.Ю. Кайдашова
Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5071

В 2015 году было принято Парижское соглашение, основной целью которого является усиление глобального реагирования на угрозу изменения климата. Данное соглашение стало импульсом к снижению доли углеводородной энергетики в общем мировом энергобалансе. В рамках инициативы по достижению цели сокращения выбросов парниковых газов на 55% к 2030 году и достижения их нулевого уровня к 2050 году 14 июля 2021 года Европейская комиссия представила проект пакета климатического законодательства. В рамках проекта предлагается внедрение трансграничных углеродных налогов (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM), что является серьезным вызовом для России – одного из крупнейших поставщиков нефти, газа и угля в мире.