

УДК 536.46.: 532.517.4

## ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ

<sup>1</sup>Болегенова С.А., <sup>2</sup>Байдуллаева Г.Е., <sup>2</sup>Абдрасилова В.О., <sup>2</sup>Адibaев Б.М.

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы,

e-mail: saltanat.bolegenova@kaznu.kz;

<sup>2</sup>Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова, Алматы,

e-mail: G.Baydullaeva@mail.ru

Актуальность данной проблемы и растущее внимание к ней связаны с работой действующих энергетических установок, с созданием новых камер сгорания, с увеличением количества загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу. Участие энергетических предприятий в загрязнении окружающей среды продуктами сгорания топлива, твердыми отходами значительно, и это, прежде всего, электростанции, работающие на твердом топливе и являющиеся основным источником загрязнения воздуха, почвы, воды. Использование угля в качестве энергетического и химического сырья по экономическим прогнозам в ближайшие десятилетия будет возрастать как в Казахстане, так и за рубежом. Если в прошлом на переднем плане стояло только производство энергии, то сегодня необходимо соблюдать строгие нормы выброса вредных веществ и одновременно использовать оборудование.

**Ключевые слова:** горение, камера сгорания, пылеугольное топливо, реагирующая смесь, многофазность, угольные частицы, аэродинамические характеристики, тепловые характеристики, численное моделирование, турбулентность, химическая кинетика

## INFLUENCE OF THE DEGREE OF TURBULENCE ON THERMAL ASSOCIATION IN COMBUSTION CHAMBERS

<sup>1</sup>Bolegenova S.A., <sup>2</sup>Baidullayeva G.E., <sup>2</sup>Abdrasilova V.O., <sup>2</sup>Adibayev B.M.

<sup>1</sup>Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, e-mail: saltanat.bolegenova@kaznu.kz;

<sup>2</sup>Kazakh National Medical University named after S.D. Asfendiyarov, Almaty, e-mail: G.Baydullaeva@mail.ru

The urgency of this problem and the growing attention to it are related to the operation of existing power plants, the creation of new combustion chambers, with the increase in the number of pollutants entering the atmosphere. The participation of energy companies in the pollution of the circulating medium by the products of fuel combustion, solid wastes is considerable, and this is primarily power plants operating on solid fuels and being the main source of air, soil and water pollution. The use of coal as energy and chemical raw materials on economic forecasts in the coming decades will increase both in Kazakhstan and abroad. While in the past in the foreground stood only the production of energy, that today it is necessary to comply with stringent pollutant emission standards and at the same time to use the equipment.

**Keywords:** burning, combustion chamber, pulverized coal, reacting mixture, multiphase, coal particles, aerodynamic characteristics, thermal characteristics, numerical simulation, turbulence, chemical kinetics

В Атмосферу Казахстана выбрасываются такие вещества, как оксид углерода, оксид азота, диоксид азота, пыль свинца, диоксид серы и т.д., которые наносят существенный вред человеческому организму. В связи с этим необходимо не только экономически выгодно производить электроэнергию, но и строго следить за концентрацией этих веществ в атмосфере.

При сжигании твердого топлива в котлах ТЭС образуется большое количество золы, диоксида серы, оксидов азота. Переход котлов на жидкое топливо (мазут) существенно уменьшает образование золы, но практически не снижает выбросы диоксида серы, так как мазуты, применяемые в качестве топлива, содержат 2% и более серы. Дымовые газы, образующиеся при сжигании мазута, содержат, кроме того, оксиды азота, газообразные и твердые продукты неполного сгорания. Так же, как

и при сгорании твердого топлива, отходящие газы содержат соединения тяжелых металлов. При сжигании природного (неочищенного) газа в дымовых выбросах содержатся оксиды азота.

Для повышения эффективности топочного процесса при сжигании пыли экибастузских многозольных углей наиболее предпочтительным является оснащение топок котлов вихревыми горелочными устройствами, обеспечивающими его устойчивое (без подсветки факела) горение.

Вычислительные эксперименты по исследованию процесса горения в камере котла ПК-39 проводились также в работе. В настоящей работе эти исследования продолжены. Применение нового современного программного комплекса для создания расчетной области позволило не применять ограничения, которые были наложены на расчетную область в работе [1]. Создание

базы данных для моделирования проводится в несколько этапов, с использованием программного комплекса PREPROZ. В создаваемых файлах содержатся геометрические данные исследуемого процесса, начальные и граничные условия для моделирования процесса тепломассопереноса в реагирующих потоках. При помощи PREPROZ создаются базовые файлы, содержащие исходную информацию, которые в дальнейшем используются в пакете программ FLOREAN. Этот компьютерный пакет программ позволяет проводить сложные вычислительные эксперименты по моделированию реагирующих многофазных течений в областях реальной геометрии.

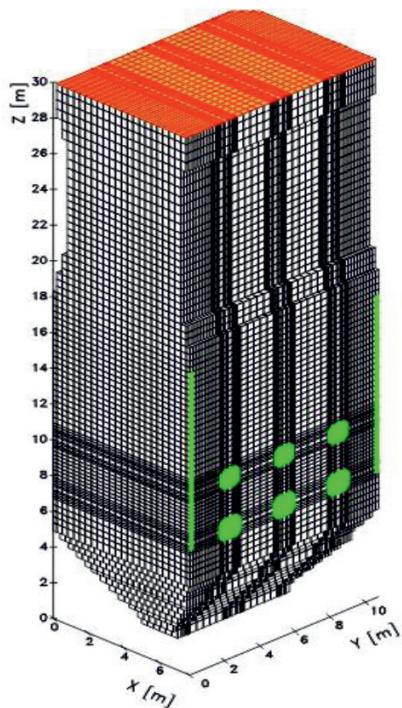


Рис. 1. Общий вид топочной камеры котла ПК-39 и разбивка ее на контрольные объемы

Вычислительный эксперимент был проведен на реальном энергетическом объекте. В качестве исследуемого объекта в работе выбрана камера сгорания котла ПК-39 к блоку 300 МВт, паропроизводительностью 475 т/ч. Котел установлен на Ермаковской электростанции (Казахстан). На рис. 1 представлена общая схема камеры сгорания этого котла и разбивка ее на элементарные объемы для проведения вычислительных экспериментов. Камера сгорания оборудована 12 вихревыми трехканальными горелками. Горелки расположены встречно в два яруса по 6 горелок в каждом. Для интенсификации воспламенения и создания благоприятных условий устойчивого горения горелки имеют два размера, что позволяет обеспечить разные коэффициенты избытка воздуха в них: нижний ярус  $\alpha_r = 1,4$ , верхний ярус  $\alpha_r = 0,9$ . Топливо по ярусам распределено поровну [2–5].

Из графиков рис. 2–6 видно распределение концентрации по высоте камеры сгорания в зависимости от газа ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ) при различных значениях турбулентности при  $T_u = 5$  и при  $T_u = 10$ . Из графиков мы поняли, что чем больше турбулентность, тем меньше выброс вредных веществ, и лучше воздействует для полного сгорания. Из графиков рис. 8–9 распределение температуры для различных газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , кокс и т.д.) по высоте в камере сгорания отличается незначительно. Из графика рис. 10 видно, что распределение при одинаковой концентрации по высоте камеры сгорания для максимального значения при  $T_u = 5$  и при  $T_u = 10$  для  $\text{CO}$  выброс вредных веществ меньше, чем больше турбулентность. Из графиков рис. 11 видно, что при одинаковой концентрации для среднего значения выброс вредных веществ меньше, чем меньше турбулентность. Из графиков рис. 12 при одинаковой концентрации и различной турбулентности при  $T_u = 5$  и при  $T_u = 10$ .

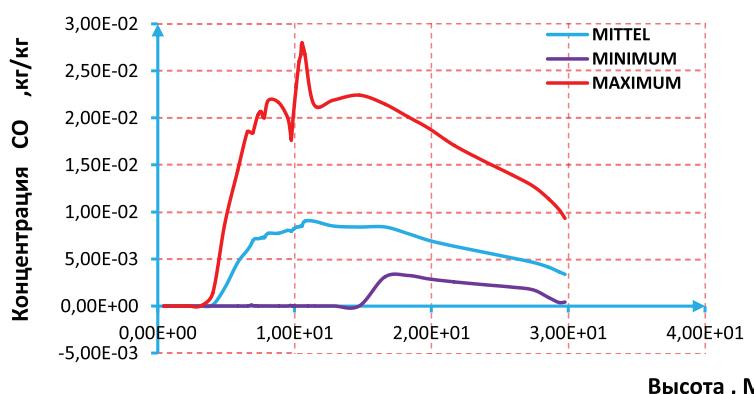


Рис. 2. Распределение концентрации по высоте камеры сгорания при  $T_u = 5$  для  $\text{CO}$

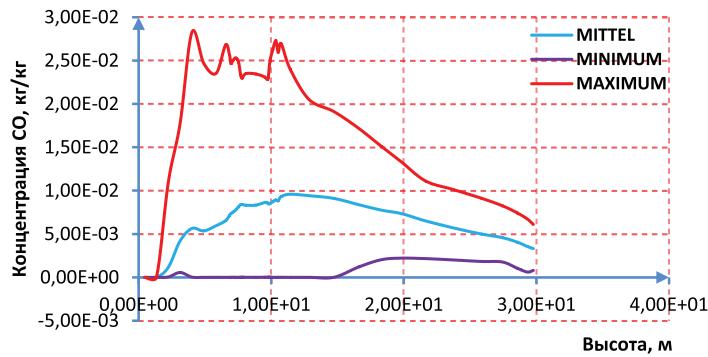


Рис. 3. Распределение концентрации по высоте камеры сгорания при  $Tu = 10$  для  $CO$

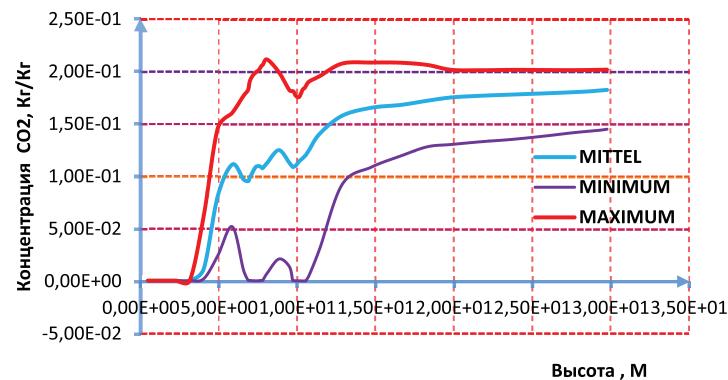


Рис. 4. Распределение концентрации по высоте камеры сгорания при  $Tu = 5$  для  $CO_2$

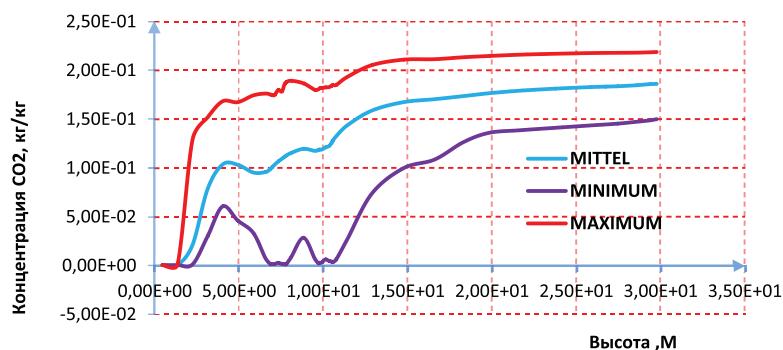


Рис. 5. Распределение концентрации по высоте камеры сгорания при  $Tu = 10$  для  $CO_2$

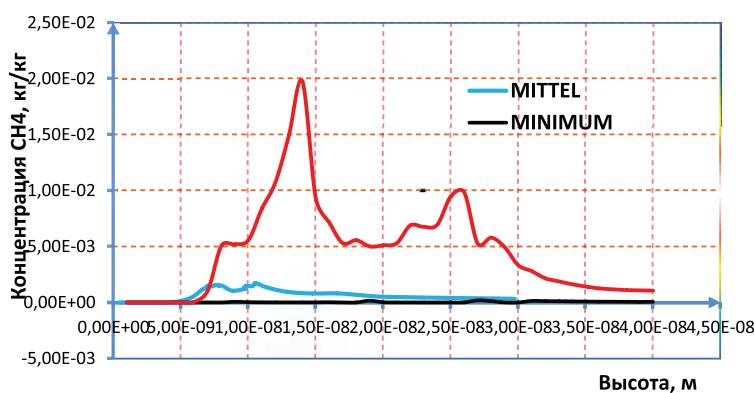


Рис. 6. Распределение концентрации по высоте камеры сгорания при  $Tu = 5$  для  $CH_4$

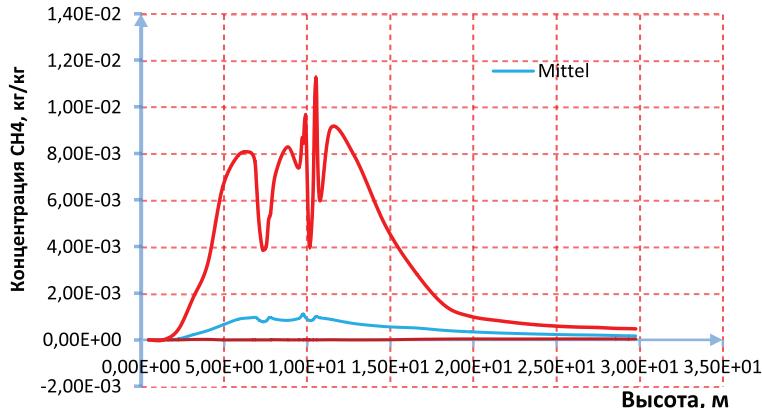


Рис. 7. Распределение концентрации по высоте камеры сгорания при  $T_i = 10$  для  $CH_4$

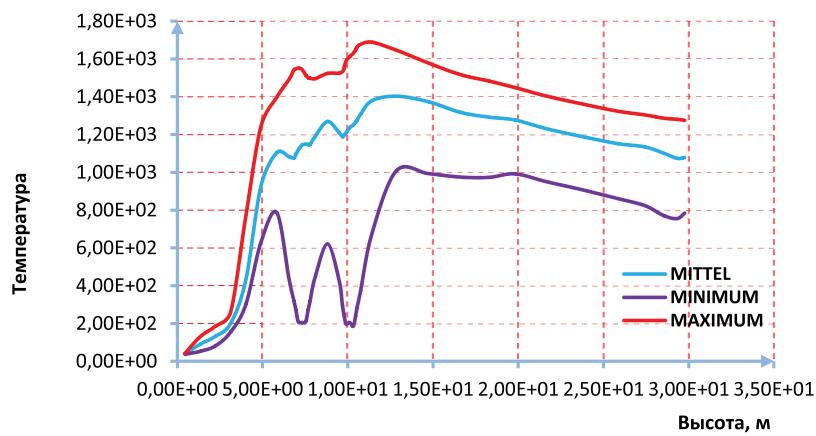


Рис. 8. Распределение температуры по высоте камеры сгорания при  $T_i = 5$

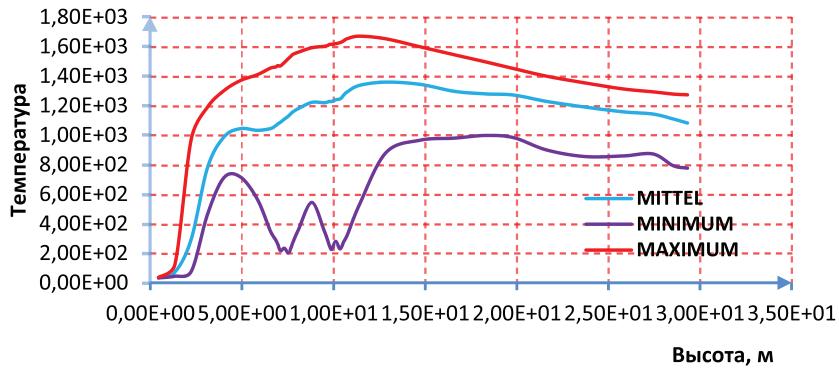


Рис. 9. Распределение температуры по высоте камеры сгорания при  $T_i = 10$

Сравнение показало, что характер температурных и концентрационных кривых достаточно хорошо моделируется и совпадает с экспериментальными данными. Это говорит о правильности примененной в данной работе математической модели турбулентной пылеугольной струи и ее распространении в топочной камере действующей энергетической установки. Наибольшие расхождения в расчетных

и экспериментальных значениях можно увидеть только в области воспламенения и затухания.

По результатам исследований в данной работе можно сделать следующие выводы:

– проведены теоретические численные исследования быстропротекающих физико-химических процессов, происходящих при горении пылеугольных потоков топлива в областях реальной геометрии. Получена

математическая модель, описывающая процесс тепломассопереноса в физико-химически реагирующих потоках, которая модифицирована и адаптирована к горению термохимически активированного и газифицированного пылеугольного факела;

— выявлены и исследованы основные закономерности влияния термохимической активации турбулентных течений с химическими реакциями на процессы тепломассопереноса в областях реальной геометрии. Показано, что использование плазменной

подготовки пылеугольного факела к горению положительно влияет на процесс тепломассообмена. С увеличением до определенного числа термохимически активированных потоков наблюдается снижение температуры на выходе из камеры сгорания, что позволяет уменьшить концентрацию окислов азота на выходе из нее. Показано, что плазменная активация топлива приводит к снижению химического (CO) и механического недожога как внутри топочного пространства, так и на выходе из него;

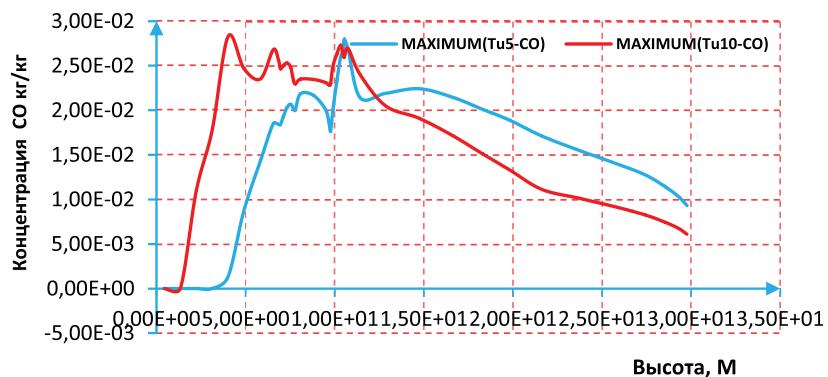


Рис. 10. Распределение концентрации по высоте камеры сгорания для максимального значения при  $Tu = 5$  и при  $Tu = 10$  для CO

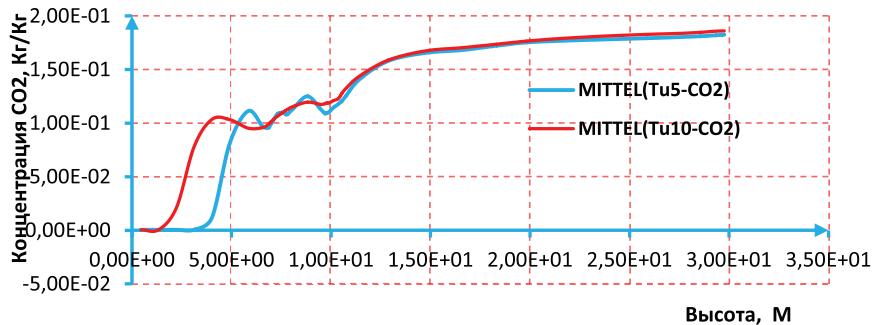


Рис. 11. Распределение концентрации по высоте камеры сгорания для среднего значения при  $Tu = 5$  и при  $Tu = 10$  для  $CO_2$

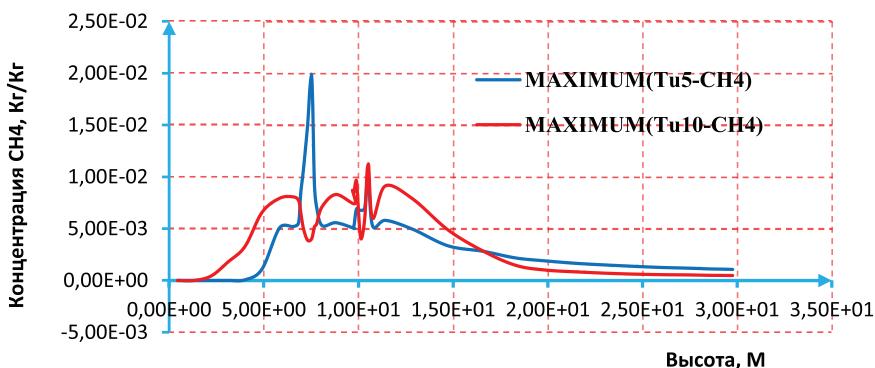


Рис. 12. Распределение концентрации по высоте камеры сгорания для максимального значения при  $Tu = 5$  и при  $Tu = 10$  для  $CH_4$

– установлено, что метод термохимической активации пылеугольных потоков позволяет в значительной степени оптимизировать процесс сжигания низкосортных высокозольных углей и существенно снизить выбросы вредных как газообразных, так и твердых веществ. Показано, что при увеличении степени плазменной активации перемешивание топливной смеси происходит более интенсивно, что способствует раннему и более устойчивому воспламенению;

– удовлетворительное соответствие экспериментальных и расчетных данных позволяет сделать вывод о применимости предложенной в работе математической модели для расчетов высокотемпературных потоков с химическими реакциями в областях реальной геометрии как для обычного горения, так и для горения плазменно активированных пылеугольных потоков.

#### Список литературы

1. Аскарова А.С., Болегенова С.А., Лаврищева Е.И., Локтионова И.В. Численное моделирование топочных процессов при горении высокозольного экибастузского угля // Теплофизика и Аэромеханика. – 2002. – Т. 9, № 4. – С. 585–596.
2. Аскарова А.С., Карпенко В.Е., Мессерле В.Е., Устименко А.Б. Плазмохимическая активация горения твердых топлив // Химия высоких энергий. – 2006. – Т. 40, № 2. – С. 141–148.
3. Аскарова А.С., Болегенова С.А., Лаврищева Е.И., Локтионова И.В. Численное исследование теплофизических характеристик процесса горения плазменно подготовленного пылеугольного топлива // Теплофизика и Аэромеханика. – 2004. – Т. 11, № 3. – С. 487–495.
4. Аскарова А.С., Болегенова С.А., Лаврищева Е.И., Локтионова И.В. Численное моделирование перераспределения воздушно-топливных потоков в камерах сгорания// Доклады Национальной Академии Наук РК. Сер. физико-математическая – 2003. – № 3. – С. 13–18.
5. Аскарова А.С., Максимов В.Ю., Бекмухамет А., Оспанова Ш.С. Исследование образования вредных веществ в камере сгорания БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ. // Труды 8 Всероссийской конференции с международным участием «Горение твердого топлива». Россия, Новосибирск, 13–16 ноября, 2012. – С. 9.1–9.4.