

10. Kuznetsov, G.V. 3D problem of heat and mass transfer at the ignition of a combustible liquid by heater metal particle [Text] / G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak // Journal of Engineering Thermophysics. – 2009. – V. 18. – №1. – С. 72–79.
11. Kuznetsov, G.V. The influence of heat transfer conditions at the hot–liquid fuel interface on the ignition characteristics [Text] / G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak // Journal of Engineering Thermophysics. – 2009. – V. 18. – №1. – С. 162–167.

УДК 621.181

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИМЕНительно К ТОПКАМ С ЦИРКУЛИРУЮЩИМ КИПЯЩИМ СЛОЕМ

Гиль А.В., Гиль А.Ю.

¹Томский политехнический университет, Томск

²Томский государственный университет

E-mail: andgil@tpu.ru

Постоянное увеличение производства тепловой и электрической энергии в мире ставит перед обществом ряд проблем по перспективному развитию энергетических технологий. Прежде всего, это повышение эффективности, надежности и технологического совершенствования ТЭС, а также снижение негативного влияния ТЭС на окружающую среду.

Поэтому, не смотря на консерватизм генерации тепловой и электрической энергии, и достижения казалось бы предельных параметров рабочего тела с применением парового цикла, в котором основными элементами представляются котельный агрегат и паровая турбина наблюдается активное внедрение новых технологий для более эффективной генерации.

При этом можно отметить, что в последние десятилетия во многих странах мира идет процесс становления открытого постиндустриального общества, которое радикально преобразует социокультурное пространство бытия человека в мире. Внедрение и использование новых инженеринговых, информационных и коммуникационных технологий имеет глобальный характер. И при этом возрастающий уровень технологичности производства, использования новых форм управления процессом производства, основанных на инновационных методах ставит перед современным инженером и управленцем требование мыслить междисциплинарными и межнаучными категориями. Основным ресурсом развития личности в современном обществе становятся информация и знания. Умение работать с базами данных, объем и качество освоенной информации, способность производить новое знание, внедрять новые методы в традиционные технологические цепочки [1].

В энергетике наиболее перспективно совершенствовать и развивать угольные технологии, поскольку в мире существуют большие его запасы, которые в будущем будут более конкурентоспособны по цене по отношению к нефти и природному газу.

В США ведутся работы по разработке материалов способных обеспечить надежную эксплуатацию энергоблоков с давлением 35 МПа и температурами до 870 °С.

В странах Евросоюза разрабатывают пылеугольные котельные агрегаты на суперсверхкритические параметры пара с давлением острого пара 37,5 МПа и перегревом до 720 °С. При этом к 2030 году намереваются достичь КПД до 55 % с температурой пара до 800 °С.

Технологии использования твердого топлива на основе газификации позволяют добиться высоких экологических показателей и при этом, несмотря на все сложности технологического процесса, в последние годы в США введены в эксплуатацию опытные установки мощностью 250 и 350 МВт с КПД на уровне 46–48 %.

При этом процесс воздушной или паровоздушной газификации наиболее перспективно организовывать с использованием технологии циркулирующего кипящего слоя. Данная технология активно внедряется и на котлах с прямым сжиганием угля.

В 2009 году в Польше запущен в эксплуатацию первый энергоблок 460 МВт с котлом ЦКС производства компании Фостер–Уиллер, рассчитанный на сверхкритические параметры острого пара (265 бар/560 °С). Данный блок обеспечивает лучший в мире КПД для блоков с котлами с ЦКС – 43,3 %, что в совокупности с очень низким уровнем выбросов удовлетворяет требованиям директивы Евросоюза по крупным установкам сжигания топлив [2].

Эффективность работы котла с ЦКС зависит от ряда факторов, влияющих на распределение, выгорание, внутреннюю и внешнюю циркуляцию частиц. Поскольку качественное проектирование мощных энергетических котлов с циркулирующим кипящим слоем в значительной степени зависит от представления и анализа газодинамических процессов, то их наиболее перспективно исследовать с учетом уровня развития современной вычислительной техники, используя методы численного анализа, имеющие ряд широко известные преимуществ по отношению к теоретическим и экспериментальным методам.

В качестве примера приведено численное исследование газодинамики на основе модели топki котла с циркулирующим кипящим слоем высотой 5,4 м, диаметром 0,14 м. Скорость подачи воздуха снизу – 10,5 м, расход топлива – 0,02 кг/с.

Численное описание движения полидисперсных частиц топлива в топке котла выполнено при помощи лагранжевого подхода. Основная идея этого способа представления поведения дисперсной фазы заключается в том, что весь спектр частиц пылеугольного топлива, поступающего в топочную камеру, разбивается на N групп. При этом считается, что поведение каждой группы частиц может быть охарактеризовано поведением ее представителя – пробной одиночной частицы – маркера. Т.е. свойства, которыми в настоящий момент времени обладает частица-маркер, распространяются на все частицы группы, которые представляет частица-маркер [3, 4, 5].

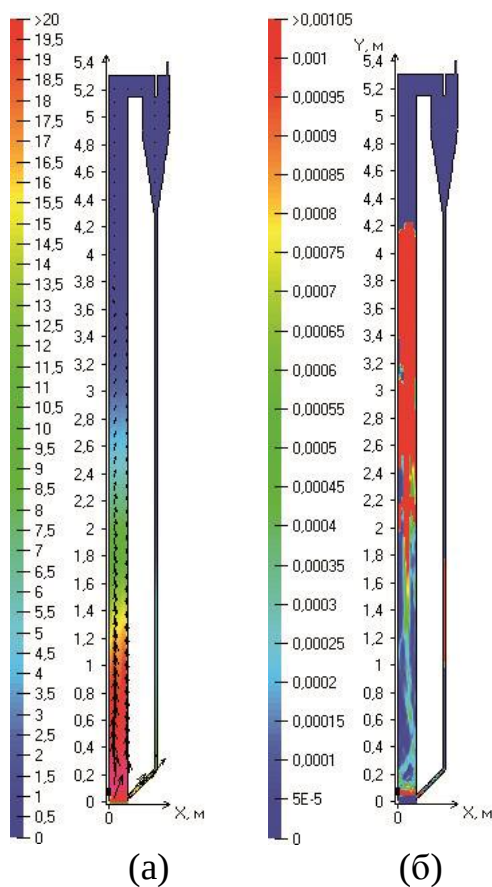


Рис. 1. Результаты численного моделирования установки с циркулирующим кипящим слоем (а) распределение скоростей (б) концентрация частиц

Для определения положения компонент скорости, массы и температуры топливных частиц-представителей при их движении по топочному объему и обратного влияния дисперсной фазы на несущую среду в данной работе использовался подход, опирающийся на применение формул приближенного аналитического решения системы ОДУ для параметров частицы-маркера.

На рис.1 представлены результаты численного расчета модели топки котла с циркулирующим кипящим слоем с использованием пакета прикладных программ FIRE 3D [3, 4, 6].

В нижней части топки наблюдаются максимальные значения скоростей. С увеличением высоты скорость потока снижается. Поскольку происходит интенсивное накопление частиц на высоте от 2 до 4 м. По высоте топку можно разбить на три участка со скоростями потока 15–20 м/с, 7,5–15 м/с и 1–7,5 м/с. При этом наблюдается начало накопления твердой фазы при снижении скорости потока до 7,5 м/с.

На рис. 2 представлено изменение скорости по глубине топки на высоте 3,5 м. Вблизи стен топки значения скоростей близки к нулю. На расстоянии 20 мм от стен скорость потока возрастает до 1,12 м/с, а в

центральной части снижается до 1,08 м/с. В центральной части топки происходит более интенсивный вынос частиц на данной высоте (рис. 3).

Концентрация частиц в горизонтальном сечении топки на высоте 3,5 м в средней зоне достигает максимального значения и составляет $0,18 \text{ кг/м}^3$. В периферийных зонах концентрация снижается, а непосредственно у стен возрастает до значений $0,08 \text{ кг/м}^3$. Данный факт может свидетельствовать о наличии внутренней циркуляции частиц. В центральной зоне частицы поднимаются вверх, а у стен топки медленно опускаются вниз.

Выводы

Предложенные численные подходы позволяют получить визуальную картину и интегральные характеристики физических процессов в топках с циркулирующим кипящим слоем.

На основании анализа численных результатов можно отметить, что скорость потока резко снижается на высоте примерно $2/3$ от полной высоты вследствие накопления твердых частиц выше данного участка и обратного движения частиц у стен.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости пересмотра дисперсного состава топлива или об изменении конструкции топки. Поскольку газодинамические процессы, полученные в модели, не характерны для стабильной работы котлов с циркулирующим кипящим слоем.

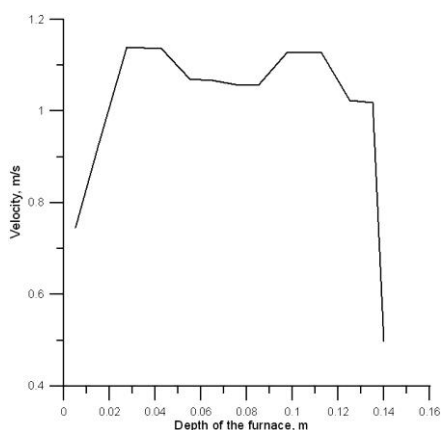


Рис. 2. Изменение скорости потока по глубине топки на высоте 3,5 м

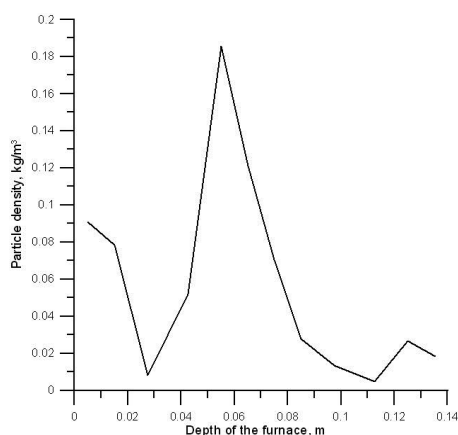


Рис. 3. Изменение концентрации частиц по глубине топки на высоте 3,5 м

Список литературы:

1. L.I. Korobeynikova, A.Y. Gil. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, 316, 105 (2010)
2. G.A. Ryabov, O.M. Folomeev, D.A. Sankin, K.V. Khaneev, I.G. Bondarenko and D.A. Mel'nikov. Power Technology and Engineering, 44, 137, (2010)

3. A.V. Gil, A.V. Starchenko. Thermophysics and Aeromechanics, 19, 503 (2012)
4. Gil A.V., Zavorin A.S., Starchenko A.V., Obukhov S.V. Power Technology and Engineering, 45, 42 (2011)
5. A.M. Bubenchikov and A.V. Starchenko, *Numerical Models of the Dynamics and Combustion of Aerodisperse Mixtures in Channels*, (Tomsk State Univ., Tomsk, 1998)
6. A S Zavorin¹ A V Gil¹ P S Khaustov¹ R B Tabakaev¹ and D A Buslov. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 66 012038 (2014)

УДК 536.4

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ ЗАЖИГАНИИ СИСТЕМЫ «ТКАНЬ – ГОРЮЧАЯ ЖИДКОСТЬ – ОКИСЛИТЕЛЬ» ЛОКАЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ

Глушков Д.О., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А.
Томский политехнический университет, Томск

В последние годы выполнены численные исследования процессов тепломассопереноса при зажигании твердых [1–4], жидких [5–8] конденсированных веществ и полимерных материалов [9, 10] источниками ограниченной энергоемкости (металлические и неметаллические частицы, проволоочки, стержни, концентрированные потоки излучения и т.д.).

Целью настоящей работы является математическое моделирование процессов тепломассопереноса в системе «ткань – горючая жидкость – окислитель» и численное исследование предельных условий зажигания паров жидких горючих веществ (топлив), поступающих с поверхностей пропитанных ими тканей, при локальном нагреве.

Рассматривались физико-химические процессы в системе «ткань – горючая жидкость – окислитель». Принималось, что в начальный момент времени ($\tau=0$) нагретая до высоких температур частица осаждается на ткань, пропитанную жидким горючим веществом, объемная доля которого (ϕ) известна. При локальном нагреве ткани компоненты горючей жидкости начинают интенсивно испаряться. Образующиеся пары горючего перемешиваются с окислителем – воздухом и нагреваются за счет энергии разогретой частицы. При достижении предельных температур парогазовой смеси и концентраций в ней горючего происходит воспламенение.

Исследования выполнены для типичных жидких топлив (бензин, керосин, дизельное топливо) и широко распространенных тканей (шерсть, шелк, лен). В качестве источника нагрева выбрана стальная частица в форме цилиндрического диска малых размеров R_p и Z_p .