

2. Thorpe, Gary S. (2015). AP Environmental Science, 6th ed. Barrons Educational Series. ISBN 978-1-4380-6728-5. ISBN 1-4380-6728-3
3. Kok, Kenneth D. (2010). Nuclear Engineering Handbook. CRC Press.
4. Information and Issue Briefs. World Nuclear Association. 2006. Archived from the original on 2013-02-16. Retrieved 2006-11-09.

Scientific supervisor: A.V. Zenkov, Cand. Sc., associate professor of The Butakov research center, ISHE, TPU.

ОРГАНИЗАЦИЯ СЖИГАНИЯ ТВЁРДЫХ ТОПЛИВ В КОТЛАХ С ЦКС

С.А. Пузырёв

Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5Б94

Основой всякого топочного устройства является организация и поддержка необходимой аэродинамической структуры газоздушного потока, которая в свою очередь определяет процессы горения в топке [1].

Одним из промежуточных способов факельного и слоевого сжигания топлива является его сжигание в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) [1]. Первый пуск энергетического котла, реализованного на технологии ЦКС, произошёл в Финляндии в 1979 году [2].

Гидродинамика внутритопочных процессов котлов с ЦКС определяет особенности процессов теплообмена внутри контура циркуляции частиц, конструкцию котельного агрегата и его эксплуатацию [2].

Разностороннее развитие технологии с момента первого пуска энергетического котла с ЦКС позволило многократно повысить производимые мощности таких котельных агрегатов, рисунок 1 [3].

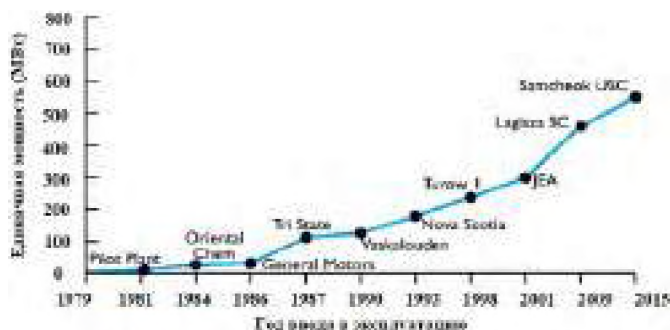


Рис. 1. Повышение единичной мощности котлов с ЦКС

Тем не менее, такой способ организации горения всё ещё не получил повсеместного применения [3]. Процесс проектирования котлов с ЦКС является трудоёмкой задачей, причиной чего является отсутствие доступных публикаций по методике теплового расчёта [2]. Описанные в Нормативном методе теплового расчёта котлов [4] рекомендации могут быть учтены только при расчёте конвективных поверхностей.

Повышенный интерес на такую перспективную технологию обуславливается её уникальными достоинствами [2]:

- “Всеядность” по отношению к применяемым топливам;
- Высокая эффективность сжигания;
- Низкие выбросы NO_x ;
- Приблизительно такие же значения теплонапряжения сечения топки в сравнении с пылеугольными котлами;

- Большая равномерность распределения температуры и способность чёткого регулирования, в том числе в вынесенных теплообменниках, позволяют применять технологию на сверх- и сверхкритических параметрах пара;
- Возможность глубокого поглощения оксидов серы собственной золой или добавками измельчённого известняка.

Благодаря “всеядности” (при сжигании возможно использовать одновременно различные смеси топлива, в том числе присутствует возможность использования в качестве топлива твёрдые бытовые отходы) технология нашла широкое применение как в развивающихся странах Азии, особенно в Китае, так и в обеспокоенных за экологичность сжигания странах Европы [5].

Причинами отсутствия повсеместного применения технологии также являются проблемы обслуживания и эксплуатации. Такие аспекты практически не отражаются в доступных научно-исследовательских работах [3].

В опубликованной статье [3] рассматривается ряд возникающих в ходе эксплуатации проблем, в их число входят: обеспечение очистки дымовых газов; контроль температуры кипящего слоя, проблематика пуска котла из холодного состояния; обеспечение специальных гидродинамических условий внутри контура циркуляции (донном слое, надслоевом пространстве, пневмозатворе).

В работе [6] дан глубокий анализ влияния технического состояния колпачков на работу воздухораспределительной решётки. В статье указывается, что даже при условии обеспечения необходимых значений перепада давления, создаваемого решёткой, возможно неравномерное распределение псевдоожижающего слоя воздуха, отчего образуются, так называемые, мёртвые зоны.

Ещё одним показательным примером освоения технологии является попытка ввода в эксплуатацию первого в Российской Федерации котла с ЦКС на Новочеркасской ГРЭС в 2015 году. Излишнее количество крупных частиц непроектного топлива и его состав стали причиной повышенных температур, близких к критическим; поддержание номинальной нагрузки являлось трудноосуществимой задачей [5].

Сравнительно безопасное сжигание в ЦКС всё же требует надлежащего рассмотрения вопросов, связанных как с его проектированием, так и с эксплуатацией. Высокая температура слоя и качество его материала являются часто встречаемыми проблемами таких котлов [3]. Опытное сжигание, создание научно-экспериментальной базы, детальное изучение процессов и доводка оборудования позволят внедрить технологию в отечественную энергетику.

Поскольку проектирование энергетических котлов с ЦКС большой мощности связано с прогнозированием и учётом характера движения двухфазного потока частиц, то применение методов численного анализа с использованием компьютерных технологий представляется наиболее рациональным ввиду ряда широко известных преимуществ по отношению к теоретическим и экспериментальным методам.

На рисунке 2 представлены примеры применения пакета FIRE 3D для численного моделирования топочной камеры котельного агрегата с ЦКС [7, 8].

На рисунке 3 показано, что наиболее интенсивный вынос частиц центральной части топочной камеры соответствует данной высоте. Концентрация частиц в горизонтальном сечении топки на высоте 3,5 м в средней зоне достигает максимального значения и составляет $0,18 \text{ кг/м}^3$. Однако несмотря на снижение концентрации в периферийных зонах, зафиксировано её увеличение в пристенной зоне до значений $0,08 \text{ кг/м}^3$, что может свидетельствовать о возникновении внутренней циркуляции. Таким образом, частицы центральной зоны поднимаются направлено вверх, однако вблизи стен топки возникает опускное движение.

Вышеуказанные подходы численного моделирования позволяют получить не только визуальную картину, но и интегральные характеристики протекающих физических процессов в контурах циркуляции частиц.

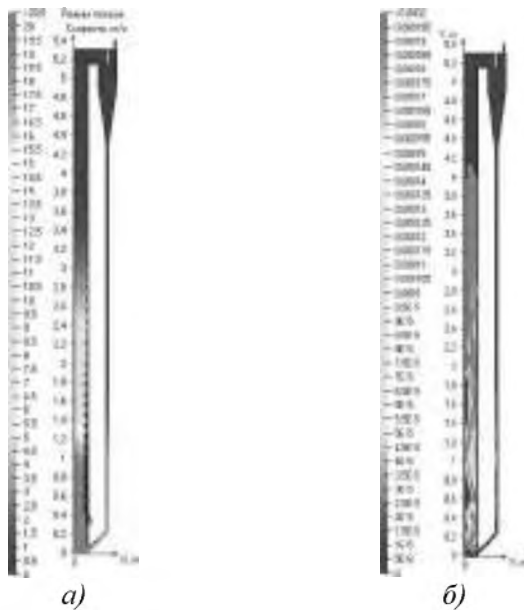


Рис. 2. Результаты численного моделирования модели установки с циркулирующим кипящим слоем:
 а) изменение скорости (м/с); б) концентрация частиц (кг/м³)

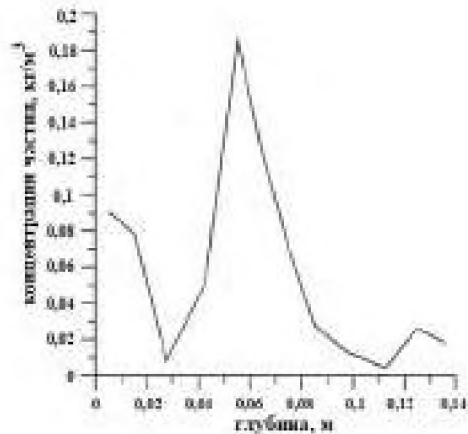


Рис. 3. Изменение концентрации частиц по глубине точки на высоте 3,5 м

Исходя из анализа полученных данных, можно заключить, что резкое снижение скорости потока на высоте примерно 2/3 от полной высоты вызвано обратным потоком частиц вблизи стен и увеличением концентрации частиц над этим участком.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Котельные установки с циклонными предтопками: монография / А.Н. Штым, К.А. Штым, Е.Ю. Дорогов. Владивосток: Издат. дом Дальневост. федерал. ун-та, 2012. – 421 с.
2. Basu P. Circulating Fluidized Bed Boilers. Design, Operation and Maintenance. – Zug: Springer International Publishing, 2015. – 366 p.
3. A review of some operation and maintenance issues of CFBC boilers / A. Arjunwadkar, P. Basu, B. Acharya // Applied Thermal Engineering. – 2016. – V. 102. – PP. 672 – 694.
4. Тепловой расчёт котлов (Нормативный метод) / СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
5. Опыт пуска и начальной эксплуатации блока №9 с котлом с ЦКС Новочеркасской ГРЭС / Г.А. Рябов, О.М. Фоломеев, Е.В. Антоненко, И.В. Крутицкий // Использование твёрдых топлив для эффективного и экологически чистого производства электроэнергии и тепла. – М.: ОАО «ВТИ», 2018. – С. 73-82.
6. Mirek P. Air Distributor Pressure Drop Analysis in a Circulating Fluidized-Bed Boiler for Non-reference Operating Conditions // Chemical Engineering and Technology. – 2020. – V. 43. – No 11. – PP. 2233-2246.
7. Mathematical modeling of physical and chemical processes of coal combustion in chamber furnaces of boiler aggregates based on the package of applied programs FIRE 3D / A.V. Gil, A.V. Starchenko // Thermophysics and Aeromechanics. – 2012. – V. 19. – No 3. – PP. 503–519.
8. Numerical analysis of the burning of pulverized coal with different thermal properties in the furnace of a BKZ-420-140-2 boiler / A.V. Gil, A.S. Zavorin, A.V. Starchenko, S.V. Obukhov // Power Technology and Engineering. – 2011. – V. 45. – No 1. – PP. 42-49.

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