

Д. А. Титов, К. А. Григорьев, П. М. Лузин

Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И. И. Ползунова, г. Санкт-Петербург
titovda92@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕПАРАТОРОВ ДЛЯ СИСТЕМ ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЯ

Приведены результаты разработки и верификации расчётной модели динамического сепаратора угольной пыли на основе программного продукта ANSYS-Fluent. Результаты численного моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными на промышленном образце сепаратора.

Ключевые слова: пылеприготовление; динамический сепаратор угольной пыли; сепарация угольной пыли; численное моделирование.

D. A. Titov, K. A. Grigoryev, P. M. Luzin

I. I. Polzunov Scientific and Development Association on Research and Design of Power Equipment, St.-Petersburg

NUMERICAL MODELING OF SEPARATORS FOR COAL PULVERIZATION SYSTEMS

The results of development and verification of the calculation model of a dynamic coal dust separator based on the software product ANSYS-Fluent are given. Simulation results are in good agreement with the experimental data obtained on industrial separator.

Keywords: coal pulverization; dynamic coal dust separator; coal dust separation; numerical modeling.

В российской энергетике на угольных ТЭС для систем пылеприготовления нашли широкое применение сепараторы

инерционного и центробежного типа. Однако в настоящее время есть потребность в разработке отечественных динамических сепараторов. Разработку новых образцов техники сегодня невозможно представить без использования компьютерного моделирования. Вычислительный эксперимент позволяет обосновать технические решения при модернизации действующих установок и создании новых конструкций на стадии проектирования.

Для численного исследования сепараторов твердого топлива разработаны расчётные модели на основе программного продукта ANSYS-Fluent.

Расчётные модели. Угольный сепаратор представляет собой пространственную конструкцию, осложнённую сепарационными элементами (например, лопатками направляющего аппарата, динамическими элементами ротора и др.). Рабочая среда – двухфазный поток («газ – твёрдые частицы»), в котором газовая фаза состоит из смеси воздуха, дымовых газов и водяных паров, а твёрдая фаза представлена совокупностью полидисперсных (различных по размеру) твёрдых частиц.

Предполагалось, что процессы сушки и измельчения топлива завершились в мельнице, конденсация водяных паров в сепараторе отсутствует, и тепловыми потерями в окружающую среду от наружного охлаждения сепаратора можно пренебречь. В этих условиях моделирование изотермического турбулентного течения смеси «газ – твёрдые частицы» рассматривалось в трёхмерной постановке.

Для описания двухфазного потока использован DPM (Discrete Phase Model) модуль, в котором реализован известный подход Эйлера – Лагранжа к описанию движения непрерывной (газ) и дискретной (частицы) фаз. Выбор модуля DPM обусловлен тем, что в данной задаче объёмная доля твёрдого материала в двухфазной смеси не превышает критического для данного модуля значения 10 %. Для описания течения газа используются уравнения неразрывности и сохранения импульса, замыкаемые с помощью стандартной двухпараметрической $k - \varepsilon$ -модели турбулентности. Для описания

движения твёрдых частиц используется модель дискретной фазы, взаимодействующей с газовым потоком (обмен импульсами, массой и энергией). В качестве граничных условий задаются: массовые расходы фаз – на входе и статическое давление потока – на выходе из сепаратора. Взаимодействие частиц со стенкой учитывается с помощью экспериментально определённых коэффициентов отскока, равных 0,2 – для нормального и 0,8 – для тангенциального отскока.

Верификация расчётных моделей выполнена по экспериментальным данным, полученным сотрудниками ОАО «НПО ЦКТИ» в результате испытаний валковой среднеходной мельницы МВС-125 с опытным образцом динамического (механического) сепаратора при размоле донецкого каменного угля. Ротор сепаратора представлял собой корзину в виде перевернутого усечённого конуса, по образующей которого расположено 24 лопатки, выполненные из равносторонних уголков.

В опытах режимные параметры мельницы изменялись в следующих пределах: нагрузка по сырому топливу 1,39–2,81 кг/с, расход сушильного агента 2,92–4,47 кг/с и его температура на выходе из сепаратора 66–92°C, обороты ротора сепаратора 0–2,53 с⁻¹. Качество готовой пыли оценивалась по полному остатку на сите 90 мкм (R_{90}), который находился в пределах 7–66 %.

В численных расчётах состав, расход и плотность сушильного агента принимались по результатам поверочных расчётов системы пылеприготовления в увязке с экспериментальными данными.

Гранулометрический состав угля на входе в сепаратор предварительно задавался ($R_{90} = 66$ % и $R_{1000} = 13$ %) и затем уточнялся в зависимости от доли возврата топлива в мельницу. Кажущаяся плотность топлива определялась по его составу и варьировалась в пределах 1680–1790 кг/м³.

В результате исследования сеточной сходимости было установлено, что количество ячеек для данной задачи должно быть не менее $9,5 \cdot 10^5$.

Сравнение результатов численного моделирования с экспериментальными данными (таблица) проводилось по

контрольной характеристике пыли на выходе из сепаратора (величине R_{90}) и показало удовлетворительное как качественное, так и количественное согласование расчёта и опыта. Расхождение расчёта с опытом (от $-4,6$ до $+5,6$ %) находилось практически в пределах погрешности опытного определения величины R_{90} .

Сопоставление результатов численного моделирования с экспериментом

| Режимные параметры (по данным эксперимента) | | | Характеристика пыли на выходе из сепаратора R_{90} , % | | Расхождение расчётного и опытного значений величины R_{90} (абсолютное), % |
|--|---|--|--|--------|--|
| Расход угля B_m , кг/с | Расход сушильного агента G_g , кг/с | Обороты ротора n_r , с ⁻¹ | Экспери- мент | Расчёт | |
| 2,44 | 3,14 | 0 | 57,8 | 52,2 | +5,6 |
| 1,94 | 4,31 | 1,6 | 23,9 | 28,5 | -4,6 |
| 1,83 | 4,47 | 2,2 | 17,2 | 15,2 | +2 |
| 2,44 | 4,28 | 2,5 | 9,6 | 8 | +1,6 |

Дополнительно верификация моделей была выполнена по экспериментальным данным ОАО «НПО ЦКТИ», полученным при испытании мельницы-вентилятора М-В 1600/400/980 с инерционным сепаратором при работе на ирша-бородинском буром угле марки 2Б и М-В 3300/800/490 с инерционным сепаратором при работе на берёзовском буром угле марки 2Б, а также по данным ОАО «ВТИ», полученным в результате испытаний среднеходной мельницы типа МВС-195 с динамическим сепаратором при работе на кузнецком каменном угле марки Д [1].

Все верификационные расчёты показали, что принятые математические модели адекватно описывают гидродинамику двухфазного потока в сепараторах различного типа; расхождение расчётов с экспериментами находилось в пределах погрешности опытов.

Список использованных источников

1. Титов Д. А., Григорьев К. А., Клепиков Н. С., Парамонов А. П., Штегман А. В. Исследование работы динамического сепаратора пыли на основе численного моделирования // Электрические станции. 2018. № 3 (1040). С. 17–21.