

УДК 621.928.6: 001.891.573

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ANSYS FLUENT ДЛЯ ОТРАБОТКИ КОНСТРУКЦИИ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПЫЛЕДЕЛИТЕЛЕЙ И ПЫЛЕКОНЦЕНТРАТОРОВ ДЛЯ КОТЛОВ БЛОКОВ 300-500 МВт

*Гасеева М. О., Кривишвили А.Р., Межов Е. А.*

*ЗАО «ЗиО-КОТЭС», г. Новосибирск*

Эффективность современных способов сжигания пылеугольного топлива в значительной степени определяется аэродинамикой течения рабочих сред в различных элементах котельной установки. Особую сложность имеют вопросы проектирования оборудования, работающего с неоднородными средами. Так применение пылеугольного способа сжигания на ТЭС требует особого подхода к раздаче двухфазной пылевоздушной смеси в системе горелочных устройств, что во многом определяет надежность, экономичность и экологичность сжигания топлива.

В настоящее время при проектировании крупных котлов для сжигания каменных углей типовым решением является применение систем пылеприготовления с прямым вдуванием с использованием молотковых и среднеходных мельниц. Например, такие решения применены при создании новых и реконструкции существующих котлов для блоков 300 и 500 МВт на экибастузских углях. Но недостатком данной схемы, с позиции низкоэмиссионного сжигания, является повышенный расход первичного воздуха, подаваемого в горелки, поэтому для снижения доли первичного воздуха в горелках требуется установка за мельницей специальных устройств - делителей-пылеконцентраторов [1]. Конструкции таких делителей-пылеконцентраторов (ДПК) были разработаны ЦКТИ и отработаны на различных физических моделях [2]. Использование физических моделей очень трудоемкий, дорогостоящий и длительный во времени процесс. Применение методов компьютерного трехмерного моделирования в последнее время получает все большее распространение для решения подобных задач. В данной работе сделана попытка проверить и отработать конструкцию конкретных пыледелителей для блоков 300-500 МВт на основе трехмерной математической модели.

**Выбор программного продукта и математическая модель движения двухфазной смеси.** В настоящее время существует множество программных продуктов, направленных на изучение процессов течения многофазных сред, как отечественных, так и зарубежных. В данной работе исследование проводилось посредством программного пакета ANSYS Fluent12. ANSYS Fluent - мощный инструмент для оптимизации процесса проектно-конструкторской и технологической подготовки в области вычислительной динамики жидкостей и газов.

Рассматривалась задача изотермического турбулентного движения смеси газ-твердые частицы (воздух-угольная пыль). Для имитации твердых частиц применялась модель дискретной фазы, взаимодействующая с непрерывной фазой. В этой связи необходимо решить два комплекса уравнений [3].

Первый комплекс включает в себя расчеты непрерывной фазы:

1. Уравнение непрерывности
2. Уравнение сохранения импульса
3. Уравнения стандартной двухпараметрической  $k-\varepsilon$  модели турбулентности.
  - 3.1 Уравнение переноса кинетической энергии
  - 3.2 Уравнение переноса диссипации турбулентной энергии

Второй комплекс решает уравнения для дискретной фазы:

1. Уравнение движения частиц
2. Баланс сил для каждой частицы
3. Сила сопротивления для каждой частицы

Предполагается, что частицы каждой фракции имеют сферическую форму. Полидисперсность смеси учитывается по распределению Розина-Раммлера.

### Отработка математической модели на примере ДПК для Аксуской ЭС.

В качестве объекта исследования был выбран делитель-пылеконцентратор, установленный на выходе валковой мельницы и раздающий угольную пыль к пылеугольным горелкам и сбросным соплам парового котла типа ПК-39 Аксуской ЭС блок на 300 МВт [4, 5].

Делитель-пылеконцентратор изображен на рис. 1. ДПК состоит из четырех сборочных единиц: патрубков переходный (1), диффузор (2), отвод – течка сырого угля (3), делитель (4). По условиям конкретной компоновки мельниц и делителей для рассматриваемого котла переходный патрубок выполнен криволинейным прямоугольным сечением. Диффузор состоит из входного конусного корпуса (5), внутри которого расположен конус осадительный (6) и рассекатель (7). Корпус делителя состоит из полуобечаяек, образующих три кольцевых канала. Кольцевые каналы с помощью переходных коробов соединяются с основными пылепроводами (А, Б и В). Центральную часть делителя занимает цилиндрический сбросной патрубок (8), который соединяется со сбросным пылепроводом (Г).

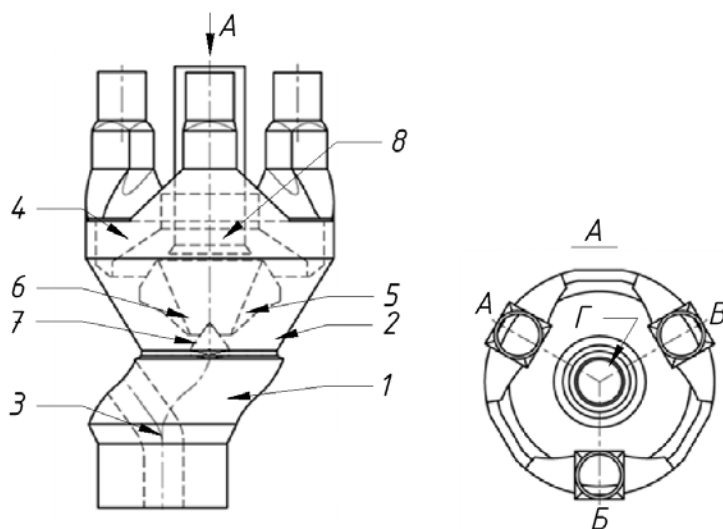


Рис. 1 – Делитель-пылеконцентратор

В соответствии с проектным решением, ДПК должен обеспечивать следующее разделение пылевоздушного потока:

- а) по угольной пыли:
  - 93 % в три основных пылепровода (по 31 % на каждый);
  - 7 % в один сбросной пылепровод.
- б) по сушильному агенту (подогретый воздух):
  - 60 % в три основных пылепровода (по 20 % на каждый);
  - 40 % в сбросной пылепровод.

На этапе пуско-наладки котла специалистами наладочной группы ЗАО "ЗиО-КОТЭС" были проведены испытания пылесистемы котла для анализа работы ДПК.

Испытания ДПК заключались в определении расходов сушильного агента и пыли по всем пылепроводам. Отбор пыли осуществлялся изокINETическим способом с помощью пылеотборного комплекса. Результаты испытаний показали неравномерность раздачи по пылепроводам сушильного агента и пыли, которая составила 0...10,5% и 9,8...26,5% соответственно. Доля пыли в сбросе изменялась от 12 до 18%, при этом доля сушильного агента в сбросе составила 41...46%. Такое деление сушильного агента и пыли не соответствовало проектным характеристикам, требованиям схемы сжигания и экологическим показателям работы котла.

При разработке технического решения, направленного на обеспечение проектного деления пылевоздушной смеси в ДПК, на первом этапе была построена трехмерная модель существующей конструкции ДПК и выполнены расчеты для эксплуатационного режима с помощью ANSYS Fluent. Скорость ПВС на входе - 15 м/с при температуре 127 °С, расход угольной пыли - 5 кг/с, что соответствует номинальной производительности корпуса котла при работе 4-х мельниц. Сопротивления пылепроводов сброса и основных горелок учитывались путем установки эквивалентных коэффициентов сопротивления в выходных пылепроводах модели (рис. 2).

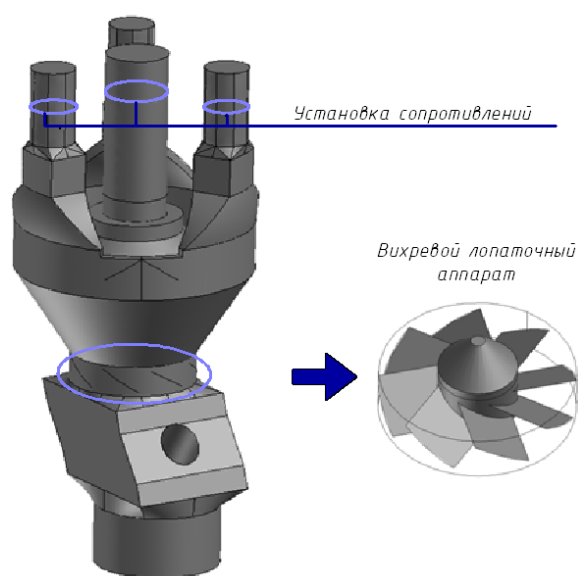


Рис 2 - Расчетная модель ДПК

Результаты 3D-моделирования (рис.3а) показали хорошую сходимость с данными испытаний.

На основе анализа течения двухфазного потока в устройстве для усиления эффекта пылеконцентрации было принято решение установить на входе в ДПК вихревой лопаточный аппарат (рис. 2).

В результате многовариантных расчетов с различными типами вихревых аппаратов, углами установки лопаток и положениями завихрителя был выбран завихритель, установленный на рассекателе на входе в ДПК, с плоскими лопатками (с углом наклона  $60^\circ$ ) в количестве 8 шт.

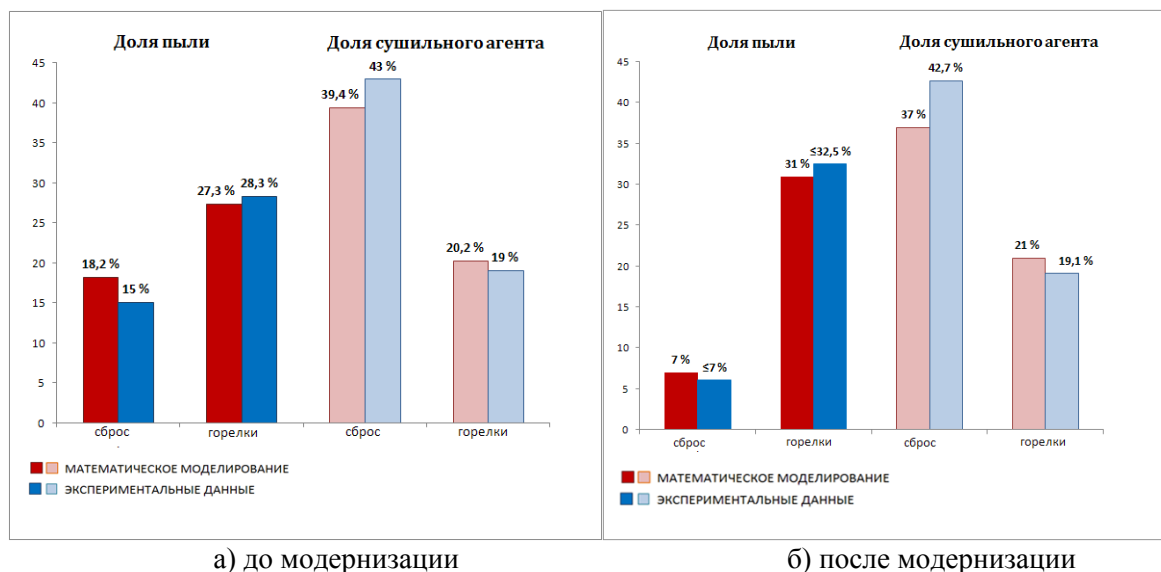


Рис. 3 - Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными

На рис. 4 и рис. 5 представлено распределение дискретной фазы по стенам ДПК, а также в сечениях по пылепроводам основных горелок и сброса.

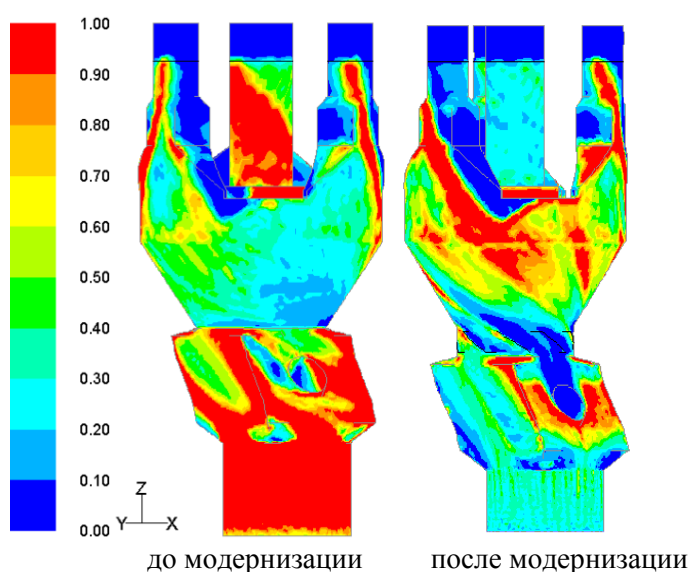


Рис. 4 - Распределение дискретной фазы по стенам делителя-пылеконцентратора до и после модернизации,  $\text{кг/м}^3$

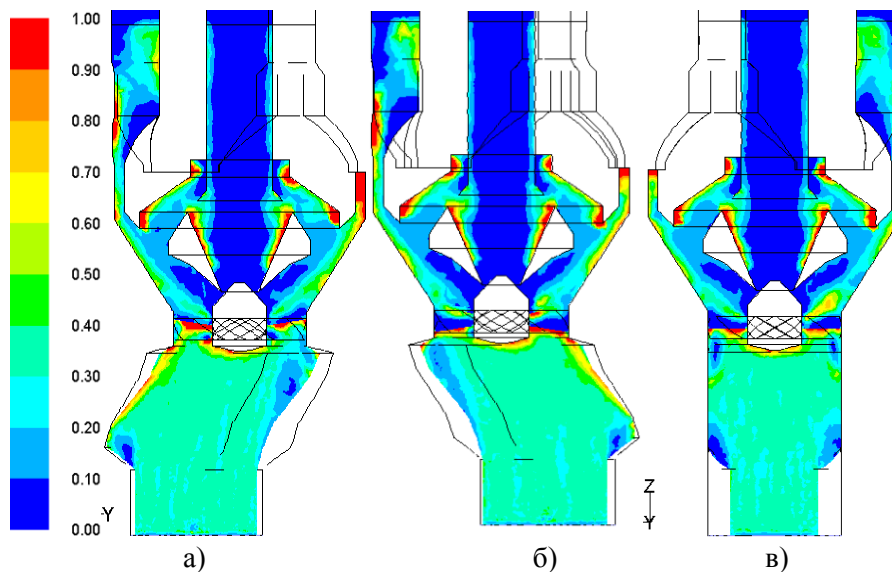


Рис. 5 – Распределение дискретной фазы в осевых сечения по пылепроводам А (а), Б (б) и В (в) после модернизации, кг/м<sup>3</sup>.

По картинам распределения дискретной фазы по стенкам и в сечениях пылепроводов отчетливо видно, что после прохождения вихревого аппарата, пыль лучше отжимается к стенкам делителя, тем самым увеличивается масса пыли распределяющейся между основными пылепроводами.

После изготовления и установки завихрителей в ДПК были проведены повторные испытания с определением расходов сред по пылепроводам. На рис. 3б приведено сравнение результатов моделирования и данных замеров, как видно, при 4-х мельничном режиме доля пыли в сбросном пылепроводе составила  $\leq 7\%$ , доля сушильного агента - 42,7%, а результаты моделирования очень близки к опытным данным. Таким образом, реализация технического решения, разработанного на основе математического моделирования, позволила достичь требуемого распределения ПВС по основным и сбросным пылепроводам, и, как следствие, проектных показателей по выбросам оксидов азота.

**Исследование и модернизация ДПК для котла ПК-39-2 ст. №5 Рефтинской ГРЭС блок на 300 МВт.** Опыт внедрения модернизированного ДПК Аксуской ЭС, выполненного на базе математического моделирования, подтвердил корректность методики проведения численного моделирования.

Поэтому на стадии проектирования на основе данного метода была произведена проверка работы ДПК, предлагаемого к установке за центробежным сепаратором молотковой мельницы при реконструкции котельной установки с котлом ПК-39-2 ст. №5 Рефтинской ГРЭС (энергоблок мощностью 300 МВт) [6].

По проектным характеристикам ДПК должен обеспечивать разделение ПВС следующим образом:

- а) по угольной пыли:
  - 90 % в три основные пылепровода (по 30 % на каждый);
  - 10 % в один сбросной пылепровод.
- б) по сушильному агенту (подогретый воздух):
  - 70 % в три основные пылепровода (по 23,3 % на каждый);
  - 30 % в сбросной пылепровод.

Моделирование исходной конструкции ДПК показало превышение проектной доли пыли в сбросном пылепроводе (0,15 против 0,1) при обеспечении требуемого деления по сушильному агенту (рис. 6).

Используя предыдущий опыт многовариантного исследования ДПК, адекватным решением также послужила установка вихревого лопаточного аппарата.

Дополнительным требованием к установке завихрителя в данном случае являлось минимальное аэродинамическое сопротивление (по условиям работы тягодутьевых машин).

Ряд расчетов определили конструкцию рекомендуемого вихревого аппарата, с профилированными лопатками (с угломгиба 50 °) в количестве 10 шт. Результаты расчета исходного и модернизированного ДПК представлены на рис. 6, 7.

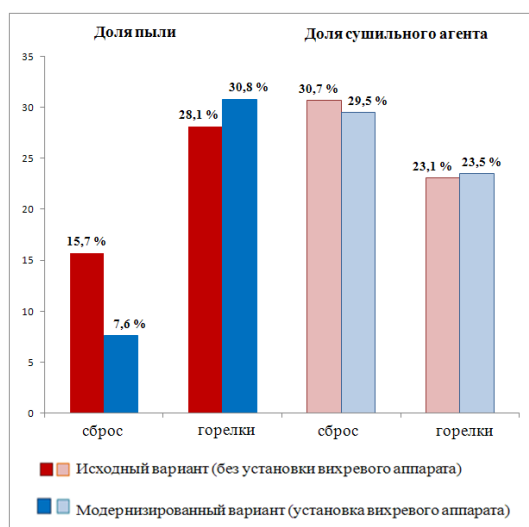


Рис. 6 - Сравнение результатов моделирования для исходного варианта ДПК и модернизированного

Таким образом, установка вихревого лопаточного аппарата позволила снизить расчетную долю пыли в сбросном пылепроводе до 7,6 %, при повышении аэродинамического сопротивления при номинальной нагрузке на 32 мм вод. ст. относительно исходной конструкции.

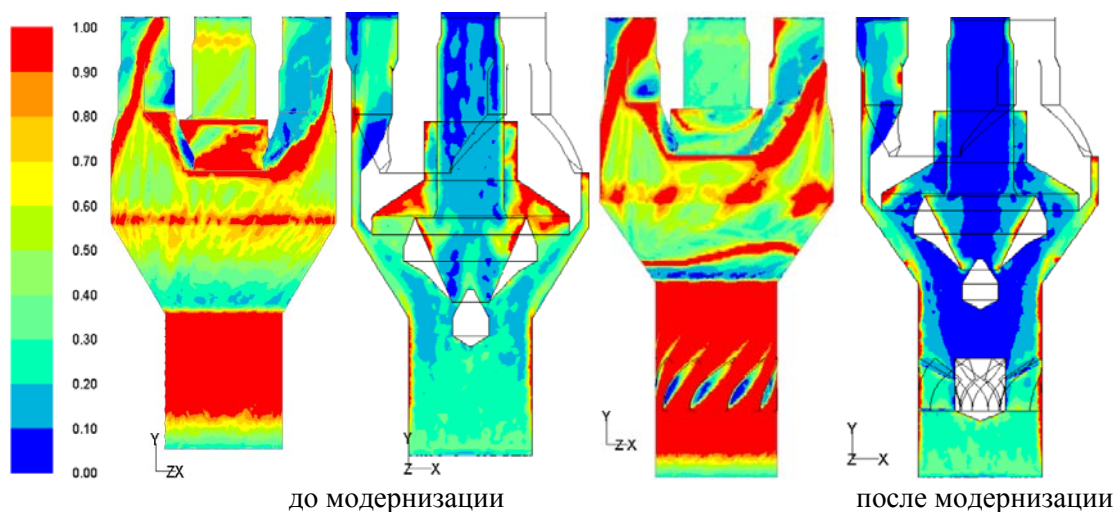


Рис. 7- Концентрация угольной пыли по стенам и в осевом сечении ДПК до и после модернизации, кг/м<sup>3</sup>

В качестве альтернативного варианта возможна установка завихрителя с меньшим коэффициентом перекрытия (уменьшение количества лопаток до 8 шт.), имеющего аэродинамическое сопротивление на 13 мм вод.ст. ниже, чем по предложенному варианту. В этом случае распределение ПВС полностью соответствует проектному распределению (доля пыли в сбросном пылепроводе - 0,1).

**Разработка ДПК для котла П-57-3М Экибастузской ГРЭС.** Используя проработки по математическим моделям ДПК Аксуской ЭС и Рефтинской ГРЭС, а также конструктивные проработки, выполненные ЦКТИ [5,6], был разработан ДПК в рамках проекта реконструкции Экибастузской ГРЭС-1 (энергоблок мощностью 500 МВт).

Предварительно основные характерные конструктивные размеры ДПК были определены с помощью теории подобия [1].

Абсолютные размеры элементов конструкции выбирались с учетом масштабных коэффициентов и с учетом обеспечения допустимого диапазона скоростей во всех участках в проточной части устройства.

Далее на основе многовариантного математического моделирования уточнялись геометрические размеры и профиль входного вихревого аппарата. На рис. 8 и рис. 9 приведены результаты расчетов для 100 и 70 % нагрузок котла.

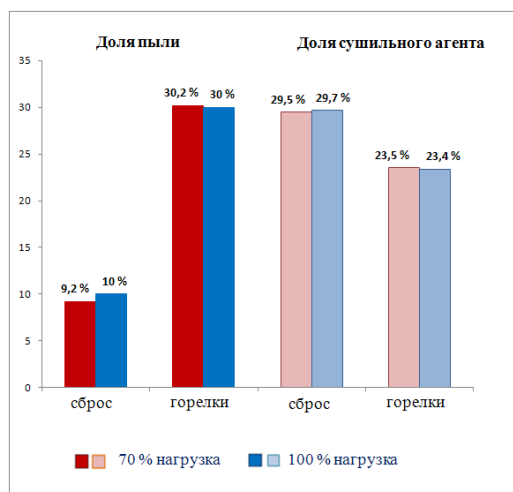


Рис. 8 - Результаты моделирования ДПК при 100 и 70 % нагрузках котла.

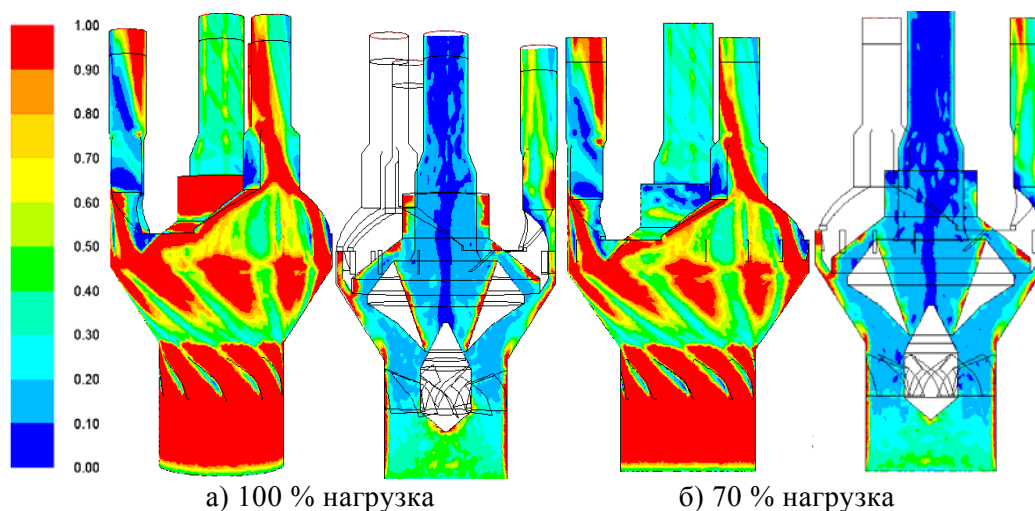


Рис.9- Концентрация топливных частиц на стенах ДПК и в осевом сечении, кг/м<sup>3</sup>.

Как видно из результатов, пыль после завихрителя движется преимущественно вдоль наружной стенки корпуса “жгутами”, изогнутыми по крутке потока.

Значительная часть пыли сепарируется внутри осадительного конуса (снижает концентрацию пыли в сбросной отвод) и затем снова подхватывается потоком после завихрителя.

Расчетное аэродинамическое сопротивление ДПК при расходе аэросмеси 83 тыс. м<sup>3</sup>/ч составляет 110-123 мм. вод. ст., а при 66,9 тыс. м<sup>3</sup>/ч – 80-90,5 мм. вод. ст.

При изменении расхода аэросмеси деление по основным и сбросным отводам сохраняется: 70/30 по сушильному агенту и 90/10 по пыли. Расчетная неравномерность по основным пылепроводам не превышает ±5% (от среднего), как по сушильному агенту, так и по пыли.

### **Выводы**

1. С помощью программы ANSYS Fluent были проведены многовариантные исследования процессов деления двухфазных потоков на примере ДПК, установленного в пылесистемах котла типа ПК-39 Аксусской ЭС.

2. Трехмерное моделирование на базе данного программного комплекса позволило разработать техническое решение по модернизации проектного ДПК и выбрать оптимальную конструкцию вихревого аппарата.

3. Проведено сравнение результатов трехмерного моделирования работы ДПК с данными натурных испытаний.

4. Сходимость результатов моделирования и экспериментальных испытаний доказывает возможность применения данной использованной математической модели при исследовании подобных задач.

5. Основываясь на результатах исследования ДПК Аксусской ЭС математическое моделирование было использовано при модернизации ДПК для блока 300 МВт Рефтинской ГРЭС и при разработке ДПК для блока 500 МВт Экибастузской ГРЭС

### **Литература**

1. Маслов В. Е. Пылеконцентраторы в топочной технике. - М.: "Энергия", 1977г. - 200с.
2. Лебедев В. Д., Маслов В. Е., Ключин А. В, Галускин В. Б., Лейкин В. З. Отработка и исследование конструкции делителя-пылеконцентратора пыли для блоков 500 МВт Экибастузской ГРЭС -II. /Теплоэнергетика. - 1985 г., №2. - с. 35-36.
3. Ansys Fluent User's Guide
4. Пат. RU 2437031 С1 Конфузорный пылеконцентратор / Лейкин В.З., Галускин В. Б., Серант Ф. А. и др. Открытое акционерное общество "Подольский машиностроительный завод" (ОАО "ЗиО") (RU); Заявка №2010143011. - №2437031. - 10,с.
5. Разработка конструкции и техдокументации в объеме на рабочее проектирование делителя-пылеконцентратора системы пылеприготовления котла ПК-39-ПМ ст.№2 электростанции АО " Евроазиатская энергетическая корпорация": Пояснительная записка № К-2530ПЗ/ Гильде Е. Э., Клепиков Н. С., Лейкин В.З. - Санкт-Петербург: НПО ЦКТИ, 2005г. -21 с.
6. Адаптирование делителя-пылеконцентратора, выполненного "НПО ЦКТИ" по договору 426-08/5 от 13,11,2008г. для котла ПК-39-ПМ ст.№2 электростанции АО " Евроазиатская энергетическая корпорация" к условиям его установки на котле ПК-39- ПМ Рефтинской ГРЭС в рамках работ по проекту "Экологическая реконструкция энергоблока 5": Пояснительная записка № К-25896 ПЗ/Бреус В.И., Клепиков Н. С., Лейкин В. З. - Санкт-Петербург: НПО ЦКТИ, 2010г.-11 с.