

УДК 66.074.48:621.928.9

Безносик Ю. А., Плашихин С. В., Серебрянский Д. А., Шкварун К. Б. (Украина, Киев)

ОЧИСТКИ ГАЗОВ ОТ ПЫЛИ В ЦИКЛОФИЛЬТРАХ

Современные газотурбинные двигатели (ГТД) с высоким КПД (30-36 %), особенно конвертируемые авиационные и судовые, при эксплуатации в составе газоперекачивающих агрегатов (ГПА) через 1500-2000 часов работы на уровне земли могут потерять 2-3 % КПД и 5-10 % мощности, если не обеспечивается тонкая фильтрация циклового воздуха и не производятся регулярные промывки компрессоров. Мировой опыт эксплуатации ГТД доказывает необходимость фильтрации циклового воздуха до степени 99,5-99,7 %, что соответствует Европейскому стандарту EN – 779 классу F9. Частицы, диаметром свыше – 2 мкм улавливаются на 100 % [1].

Широкое распространение получили аппараты для очистки воздуха, комплексные воздухоочистительные устройства блочно-модульного типа основанные на гофрированных фильтр - патронах, изготавливаемые ООО «Комплексные очистительные устройства» [2, 3]. Данные устройства просты по конструкции и надёжны в эксплуатации. Однако в условиях сильно запыленных районов (промышленные регионы, песчаные бури азиатских стран) требуется предварительная очистка воздуха перед патронными фильтр - элементами комплексного воздухоочистительного устройства. Предварительная очистка может также избавить комплексное очистительное устройство от необходимости применения системы подогрева циклового воздуха в зимний период от обледенения внутренних поверхностей очистительных устройств ГТД.

Постановка проблемы

Предварительная очистка воздуха может осуществляться в отдельно расположенной ступени очистки, например центробежным способом – в циклонах. Однако ограниченность промышленных площадок компрессорных станций, вынуждает искать технические решения по снижению габаритных размеров устройств комплексной очистки воздуха.

Одним из возможных примеров, такой реализации может быть совмещение процесса центробежной сепарации грубодисперсных частиц пыли, капельной влаги и тонкой фильтрации в одном моноблоке – циклофильтре (рис.1.) [2, 3]. Циклофильтр относится к технике сухой очистки запыленных газов и может использоваться в химической, пищевой, металлургической и энергетической промышленности. Циклофильтр создан для комплексной очистки газов от твёрдых примесей согласно требованиям санитарных норм на выбросы в атмосферу.

Циклофильтр состоит из одно – четырёхзаходного тангенциального входного патрубка, цилиндрической и конических его частей. Основа циклофильтра – гофрированный регенерируемый фильтр-патрон, расположенный в модифицированном циклоне с двойным корпусом. В данном аппарате реализована высокоэффективная первая ступень (циклонная) за счёт эвакуации пыли в первой четверти циклонного элемента в отдельный от основного потока бункер.

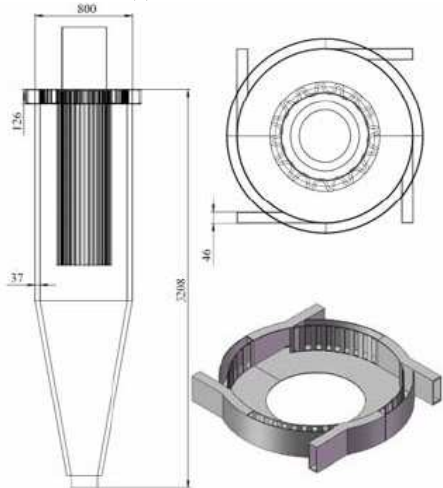


Рисунок 1 – Общий вид циклофильтра

Благодаря этому срок службы такого модифицированного циклона будет значительно выше, чем у типового (например, ЦН).

В циклофильтре соосно друг другу расположены цилиндрические корпуса циклонных элементов соединенных между собой жалюзийным элементов находящимся в первой четверти диаметра аппарата и внутренним гофрированным фильтр - элементом, выполненным из бумажного или тканевого фильтровального материала.

Циклофильтр работает следующим образом: воздушный поток заходит равномерно через входные патрубки, далее под действием центробежных сил запыленный поток сепарируется, твёрдые частицы через жалюзийный элемент выпадают в изолированный щелевой зазор циклофильтра и выводятся в бункер. Очищенный закрученный поток проходит внутрь циклофильтра и поступает на тонкую очистку в гофрированный фильтр-патрон. Необходимо определить эффективность улавливания пыли в предложенном циклофильтре.

Компьютерное моделирование процесса очистки

Эффективность улавливания в четырёхзаходном циклофильтре диаметром 800 мм, моделировалась при помощи современно прикладного CFD пакета. Движение циклового воздуха моделировалось на основании уравнения Навье-Стокса, которое описывает в нестационарной постановке законы сохранения массы, импульса и энергии для очищаемого воздуха. На входные патрубки задавалась скорость 15 м/с (оптимальная для циклонов данного типа). Текучая среда – воздух при нормальных условиях. Результаты расчётов приведены на рис.2. В результате проведенных расчётов было установлено, что в циклофильтре (без фильтра тонкой очистки воздуха) параметр, определяющий диаметр частиц, улавливаемых на 50% равен $d_{\eta 50} = 1,5$ мкм. Этот результат сопоставим с аналогичным параметром циклона СКЦН-34, являющимся наиболее эффективным. Однако такая

эффективность улавливания достигается в циклофилтре при энергозатратах в 3 раза ниже, чем у СКЦН-34, благодаря четырём входам и отводом уловленной пыли в изолированную область циклофилтра.

Процесс пылеулавливания протекает в оптимальном аэродинамическом режиме при следующих соотношениях основных конструктивных параметров предлагаемого устройства:

- отношение диаметра внутреннего цилиндрического корпуса к диаметру внешнего цилиндрического корпуса находится в интервале ($D_{внутр}/D_{внешн}$) 0,75-0,95;
- перфорированные щелевые окна имеют площадь проходного сечения -25-27% от $\frac{1}{4}$ площади стенки цилиндрической части внутренней камеры.
- отношение внутреннего диаметра D внутреннего цилиндрического корпуса к внутреннему диаметру d выхлопной трубы для очищенного газа находится в оптимальном интервале величин $D/d=0,5...0,6$;
- отношение внутреннего диаметра D внутреннего цилиндрического корпуса к внутреннему диаметру пылевыпускного отверстия d_1 находится в оптимальном интервале величин $D/d_1=0,3...0,4$;
- отношение высоты конической части корпуса к диаметру внутреннего цилиндрического корпуса - $H_k/D_{ц}=2$;
- отношение высоты, ширины и длины входного патрубка к диаметру внутреннего цилиндрического корпуса находится в оптимальном интервале величин $(a/D)/(b/D)/(l/D)$ 0,66/0,2/0,6.

Движение среды в циклоне моделируется с помощью уравнений Навье-Стокса, описывающих в нестационарной постановке законы сохранения массы, импульса и энергии этой среды. Этими уравнениями моделируются турбулентные, ламинарные и переходные течения.

Для моделирования турбулентных течений упомянутые уравнения Навье-Стокса усредняются по Рейнольдсу, т. е. используется осредненное по малому масштабу времени влияние турбулентности на параметры потока, а крупномасштабные временные изменения осредненных по малому масштабу времени составляющих газодинамических параметров потока (давления, скоростей, температуры) учитываются введением соответствующих производных по времени. В результате уравнения имеют дополнительные члены - напряжения по Рейнольдсу, а для замыкания этой системы уравнений используются уравнения переноса кинетической энергии турбулентности и ее диссипации в рамках k-ε модели турбулентности.

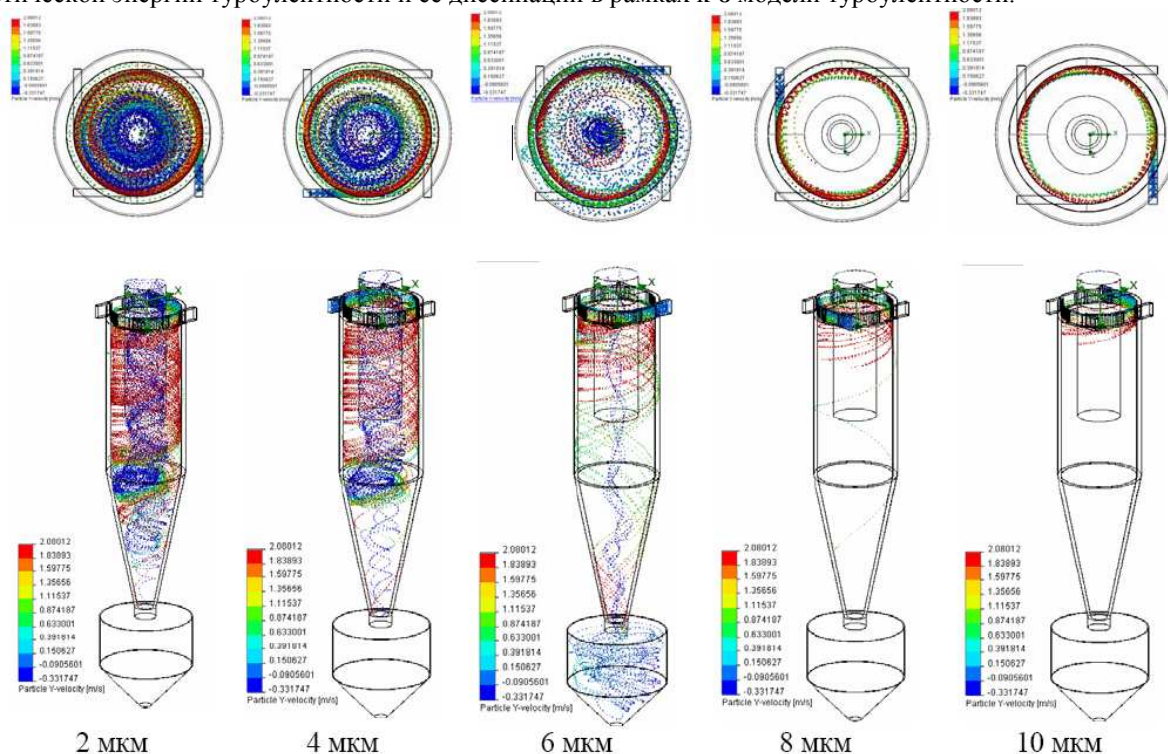


Рис. 2. Распределение осевых скоростей частиц пыли в циклофилтре

Эта система уравнений сохранения массы, импульса и энергии нестационарного пространственного течения имеет следующий вид в рамках подхода Эйлера в декартовой системе координат ($x_i, i = 1,2,3$), вращающейся с угловой скоростью Ω вокруг оси, проходящей через ее начало:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_k) = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_i u_k - \tau_{ik}) + \frac{\partial P}{\partial x_i} = S \tag{2}$$

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} ((\rho E + P)u_k + q_k - \tau_{ik}u_i) = S_k u_k + Q_H \quad (3)$$

где t - время, u - скорость текучей среды, ρ - плотность текучей среды, P - давление текучей среды, S_i - внешние массовые силы, действующие на единичную массу текучей среды: $S_{iporous}$ - действие сопротивления пористого тела, $S_{igravity}$ - действие гравитации, $S_{irotation}$ - действие вращения системы координат, т. е.

$$S_i = S_{iporous} + S_{igravity} + S_{irotation} \quad (4)$$

E - полная энергия единичной массы текучей среды, Q_H - тепло, выделяемое тепловым источником в единичном объеме текучей среды, τ_{ik} - тензор вязких сдвиговых напряжений, q_i - диффузионный тепловой поток, нижние индексы означают суммирование по трем координатным направлениям.

Для нахождения искомого численного решения задачи непрерывная нестационарная математическая модель физических процессов дискретизируется как по пространству, так и по времени. Чтобы выполнить дискретизацию по пространству, вся расчетная область циклофильтра, занятая текучей средой (воздухом), покрывается расчетной сеткой, грани ячеек, которой параллельны координатным плоскостям X , Y и Z . Ячейки расчетной сетки имеют форму параллелепипеда $30 \times 30 \times 90$. При расчете поведения текучей среды в ограниченной стенками модели области, используется так называемый метод фиктивных областей, т.е. формально расчетная сетка строится параллелепипеду образной области, покрывающей модель с текучей средой внутри. При моделировании аэродинамики циклофильтр разбивался на сечения по всей его высоте. Начало координат привязывали ко дну циклофильтра, причем ось X направлена перпендикулярно входному потоку, ось Y – по направлению входного потока, ось Z направлена от дна циклофильтра (от бункера) в направлении выходного патрубка. В результате моделирования получен массив данных, по которым построены зависимости изменения компонент скоростей потока по ширине аппарата. Численное решение систем дифференциальных уравнений в частных производных производилось в программной среде Solid Works [4]. Результаты расчета программа SolidWorks выдает в виде графических изображений распределения потоков.

Данная разработка может быть использована для разнообразных технологических систем очистки газовых сред путём проведения компьютерного моделирования и дополнительных исследований на пригодность к применению в конкретных условиях с практическим увеличением эффективности очистки воздуха.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Коузов, П.А., Очистка газов и воздуха от пыли в химической промышленности [Текст] / П.А. Коузов, А.Д. Мальгин, Г.М. Скрыбин – Л.: Химия, 1993. – 320 с.
2. Плашихин С.В. Извлечение твердой фазы из газовой среды в циклоне с тангенциальным подводом [Текст] / С.В. Плашихин, Ю.А. Безносик, Д.А. Серебрянский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2010. - № 2/10(44) – с.43 – 45.
3. Плашихин С.В. Разработка и моделирование циклофильтра для очистки газовых сред [Текст] / С.В. Плашихин, Ю.Н. Павлинский, Д.А. Серебрянский, Ю.А. Безносик // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2010, № 4/8 (46). – с. 42-44.
4. Алямовский А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в современной практике [Текст] / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов – СПб.: БХВ- Петербург, 2005. – 800с.

УДК 504.064.2.001.18+551.554

Бойко В. В., Пляцук Л. Д. (Україна, Суми)

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЕНТУ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМІНУ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ РОЗСПОВАННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ

Коротка характеристика та актуальність проблеми

На сьогоднішній час більшість регіонів України відноситься до районів з інтенсивним рівнем техногенного навантаження та навколишнє середовище. Розвинута мережа транспортних магістралей, діяльність об'єктів паливно-енергетичного комплексу, гірничо-видобувної та хімічної промисловостей, підприємств чорної металургії та машинобудування обумовлює зростаючу кількість викидів у атмосферу. Емісії забруднюючих речовин підвищують ймовірність виникнення екологічного ризику для навколишнього середовища та, як наслідок, здоров'я людини. Одним з перспективним шляхів для оцінки та прогнозування екологічних ризиків, викликаних техногенним чинником є математичне моделювання. Його застосування в задачі моніторингу якості атмосферного повітря дозволяє встановити кореляційні причинно-наслідкові зв'язки при забрудненні атмосфери, наприклад, між навантаженням на повітряне середовище, кількісним та якісним складом викидів від промислових джерел та станом атмосфери. Крім того, актуальність дослідження полягає в тому, що результати моделювання дозволяють не тільки прогнозувати стан атмосфери, але й приймати управлінські рішення з метою нормування та контролю обсягів викидів для мінімізації техногенного впливу на навколишнє середовище.

За даними U.S. Environmental Protection Agency[1] та European Environment Agency[2] нині існує більш ніж 140 моделей забруднень повітря, за допомогою яких можна розраховувати концентрації забруднюючих речовин