

Рис. 4 - Візуалізація векторного показання напрямку локальних швидкостей, а також ізоліній швидкостей

Отримані дані оброблені в масиви даних, що характеризують зміну швидкості газу при зміні геометрії каналу (радіус гофри, прямолінійна ділянка, кут розкриття). Поліноми, що апроксимують дані, будуть в подальшому використовуватися для розрахунку швидкості крапель та врахування координат розташування фільтра.

1. *Ляпощенко О.О.* Гідродинаміка інерційно-фільтруючих сепараційних пристроїв очищення природного газу. [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.17.08 : захищена 18.05.06 : затв. 04.07.06 / Ляпощенко Олександр Олександрович. – Суми, 2006. – 152 с. – Бібліогр.: с. 137–149.
2. *Декл. пат. №69701 А* Україна, МПК 7 В01D45/04. Спосіб вловлювання високодисперсної краплинної рідини з газорідного потоку і пристрій для його здійснення / В.І. Склабінський, О.О. Ляпощенко. - №20031110451; заявлено 20.11.2003; надрук. 15.09.2004, Бюл. №9, 2004 р.
3. *Пат. на винахід №88558 С2* Україна, МПК В01D45/04. Спосіб вловлювання високодисперсної краплинної рідини з газорідного потоку і пристрій для його здійснення / Склабінський В.І., Ляпощенко О.О., Логвин А.В., Міщенко О.С. – №200802372; заявлено 25.02.2008; надрук. 26.10.2009, Бюл. №20, 2009.
4. *Пат. на корисну модель №56067 U* Україна, МПК В01D45/04. Спосіб вловлювання високодисперсної краплинної рідини з газорідного потоку / Склабінський В.І., Ляпощенко О.О., Артюхов А.Є, Логвин А.В., Коробченко К.В. – №201007411; заявлено 14.06.2010; надрук. 27.12.2010, Бюл. №24, 2010.

ДВИЖЕНИЕ И СЕПАРАЦИЯ ТВЕРДОЙ ЧАСТИЦЫ В ЦИКЛОННОМ АППАРАТЕ

Шкварун К.Б., Безносик Ю.А., Ткач Н.А.

Национальный технический университет Украины «КПИ», k0styan@ukr.net

Циклоны являются наиболее характерными представителями сухих инерционных пылеуловителей, которые, как правило, имеют простую конструкцию, обладают большой пропускной способностью и несложные в эксплуатации.

В *циклонных аппаратах* формируются сложные потоки, аэродинамические параметры которых (скорости, давления, концентрации частиц загрязнителей и их фракционный состав) непрерывно меняются. Методы теоретического определения коэффициентов очистки из-за значительного расхождения результатов с опытом неприменимы для практического использования. Из эмпирических методов наиболее надежны расчеты по парциальным коэффициентам очистки, найденным экспериментально. В процессе работы *циклонные аппараты* подвергаются интенсивному износу вследствие абразивного воздействия частиц пыли на стенки, особенно при улавливании частиц крупных размеров. В наибольшей степени износу подвержены коническая часть циклона и бункер. Для их предохранения применяют покрытия из синтетических материалов и высокопрочных сплавов с высокой стойкостью к истирающему действию пыли. Анализ движения частиц дисперсной фазы в *циклонном аппарате* оказывается весьма сложным из-за непростого характера сил, действующих на частицы. Действительно, центробежная сила инерции при криволинейном движении частицы прижимает ее к внутренней стенке циклона. Со стороны стенки на частицу действует центростремительная сила нормальной реакции стенки. Эти две силы направлены по радиусу кривизны траектории частицы в каждой ее точке. В направлении движения частицы на нее действует сила трения со стороны стенки, причем величина этой силы зависит от нормального давления частицы на стенку и от величины коэффициента трения между ними. Коэффициент трения является функцией свойств материала частицы, ее формы и состояния поверхности стенки циклона.

Определяющими характеристиками *циклонных пылеуловителей* являются эффективность сепарации и гидравлическое сопротивление. Известные методы расчета, основанные на использовании эмпирических вероятностных функций, описывающих параметры фракционной эффективности *циклонных пылеуловителей* и дисперсный состав пыли, не отличаются большой точностью. Это обусловлено тем, что функции массового распределения частиц по размерам многих промышленных пыли не удовлетворяют логарифмически-нормальному закону из-за действия нескольких механизмов пылеобразования. Использование некоторых методов затруднительно из-за их многоэтапной, сложности и трудоемкости получения исходных данных для расчета.

Выделение частиц из запыленного газа при его криволинейном движении широко распространено в практике газоочистки. Имеется большое количество публикаций по вопросу сепарации частиц из газозвеси, известно большое количество устройств с приемлемыми технико-экономическими показателями. Процесс пылеотделения состоит из нескольких этапов: закрутка потока, концентрирование и вывод частиц из сепарационной зоны, формирование слоя в приемнике, удаление уловленной пыли из приемника. Нарушение любого из этапов приводит к неудовлетворительной работе пылеуловителя. Большое распространение получили аппараты с дополнительными (выносными) устройствами для осаждения, образующегося в них пылевого концентрата. Они компактны, позволяют размещать выносное устройство в удобном для выгрузки уловленной пыли месте. В качестве выносного устройства чаще всего применяют противоточные циклоны с собственными приемниками пыли. Центробежные пылеуловители условно можно разделить на следующие группы:

- аппараты с повышенной транспортирующей способностью потока концентрата пыли, в которых транспортирующая скорость вблизи стенки равна окружной скорости потока (спирально-вихревые аппараты);

- аппараты, в которых скорость транспортирования концентрата частиц к пылевыводному каналу соизмерима с окружной скоростью потока (ротоклоны, прямоточные циклонные пылеотделители);

- аппараты, в которых скорость транспортирования концентрата частиц к пылевыводному каналу намного ниже тангенциальной скорости (высокоэффективные противоточные циклоны).

В условиях производства пылеуловители работают в иных, нежели в испытательных лабораториях условиях. В практике аппараты работают в условиях абразивного износа, залипания пыли, зависания пыли, сводообразования в выгрузных устройствах, изменений условий сепарации при нестационарности концентраций пыли в потоках. Существует большое разнообразие центробежных пылеуловителей. Выбор осуществляется на основе экспериментальных, эксплуатационных данных применения аппаратов. В процессе выделения пыли из газонесущего потока дисперсная среда из аэрозольного состояния с порозностью $\epsilon > 0.999$ переходит в состояние насыпного слоя с $0.95 > \epsilon > 0.4$. Порозность - это отношение объема газа к выделенному объему, занимаемому двухфазной средой. Для порозности, близкой к единице, полагают, что присутствие частиц не влияет на движение газа. Движение частиц определяется воздействием массовых и поверхностных сил со стороны несущего газа. Величина ϵ для дисперсной среды в насыпном состоянии зависит от размеров частиц, свойств газа и поверхности частиц: толщины адсорбированной газовой оболочки, величины поверхностного электрического заряда частиц, капиллярных взаимодействий и т.д. Рассмотрим характеристики потока подлежащего очистке, а также свойства дисперсного материала в насыпном состоянии. Далее кратко рассмотрим, как частицы взаимодействуют между собой.

Поступающий в систему газоочистки дисперсный материал состоит из совокупностей первичных частиц, агрегированных частиц, и представляет вместе с несущей средой аэрозоль. В другом состоянии он находится в виде отложений или представляет насыпное тело. Агломераты образуются в результате турбулентной коагуляции, при срыве потоком отложений с поверхностей, при пересыпках материалов, при сегрегации частиц в результате его транспортировки в различных устройствах. Прочность агломератов зависит от прочности индивидуальных контактов частиц F , координационного числа, пористости Π , а также размера исходных частиц d_c . Агломерат в виде шара, состоящий из множества частиц, обтекаемый потоком, испытывает раздавливающее воздействие перепада давления в лобовой части. Возникающие при этом боковые усилия способствуют разъединению частиц, причем напряжения разъединения пропорционально перепаду давления, поскольку частицы связаны аутогезионными силами. При обтекании агломерата более мелкими частицами возможно эрозийное разрушение его тела или, наоборот, захват мелких частиц агломератом.

Время релаксации частиц - это время, в течении которого частица, попавшая в поток, последует за потоком. Изменение скорости течения газа приводит к тому, что частица либо ускоряется, либо замедляется, приспособляясь к несущему ее потоку. Поэтому сила инерции $F_{ин}$ может быть приближенно определена как скорость относительного движения ΔU , умноженного на массу m и деленная на время релаксации t_r , $F_{ин} \sim m\Delta U/t_r$. Механизм переноса количества движения и массы в турбулентном потоке идентичен, поэтому коэффициент турбулентной диффузии газа принимают равным коэффициенту турбулентной вязкости. Для потока в цилиндрической трубе коэффициент турбулентной диффузии частиц определяется диффузией энергоемких вихрей, частота пульсаций которых пропорциональна скорости потока и обратно пропорциональна размеру потока (радиусу трубы).

Приводится решение уравнения движения частицы в циклоне с учетом инерционных эффектов относительного движения частиц. Уравнение составлено в неподвижных цилиндрических координатах с учётом сил инерции, сопротивления и внешней силы для нисходящего потока, обусловленной радиальным стоком. Математическая модель (1) - (6) описывает движение и скорость движения твердой частицы в циклонном аппарате.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dw_r}{d\tau} = \frac{w_\varphi^2}{r} + Q(w_{r2} - w_r) \quad (1) \\ \frac{dw_\varphi}{d\tau} = -\frac{w_r \cdot w_\varphi}{r} + Q(w_{\varphi2} - w_\varphi) \quad (2) \\ \frac{dw_z}{d\tau} = Q(w_{z2} - w_z) \quad (3) \\ \frac{dr}{d\tau} = w_r \quad (4) \\ \frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{w_\varphi}{r} \quad (5) \\ \frac{dz}{d\tau} = w_z \quad (6) \end{array} \right.$$

Решение данной системы происходит при начальных условиях (7) - (12):

$$w_\varphi = w_{\varphi2} = r_{нач} \quad (7)$$

$$w_r = w_{r2} = 0 \quad (8)$$

$$w_z = w_{z2} = -0.32 \quad (9)$$

$$r_{нач} = r_1, r_2 \quad (10)$$

$$z_{нач} = -z_1, -z_2 \quad (11)$$

$$\varphi_{нач} = 0 \quad (12)$$

где w_{r2} , $w_{\varphi2}$, w_{z2} - составляющие скорости газа в цилиндрической системе координат; w_r , w_φ , w_z - составляющие скорости частицы; $r_{нач}$, $\varphi_{нач}$, $z_{нач}$ - начальные координаты частицы; Q - множитель который учитывает физические свойства процесса пылеулавливания и частиц; r - начальный радиус траектории газа; r_1 , r_2 - границы движения частицы по r составляющей; $-z_1$, $-z_2$ - границы движения частицы по z составляющей; dw_{r2} , $dw_{\varphi2}$, dw_{z2} - составляющие скорости газа в дифференциальной форме; dw_r , dw_φ , dw_z - составляющие скорости частицы в дифференциальной форме.

В результате решения данной системы мы получаем набор данных, которые описывают скорость и положение частицы в циклонном аппарате. Далее по этим данным строим график, на котором можно проследить, что частица двигается внутри газового потока и вылет за пределы него не наблюдается. В конце траектории частица покидает газовый поток, и чистый газ двигается далее к выходу. Это показывает, что математическая модель составлена правильно, и ее можно использовать для расчета аналогичных процессов и определения эффективности циклонного аппарата до его конструирования. Математическая модель выведена таким образом, что все соотношения, входящие в нее безразмерны, т.е. модель подлежит масштабированию, или другими словами, ее можно применить к другим циклонным аппаратам, так как при вводе необходимых данных все зависимости будут пересчитаны и модель будет подстроена уже под другой аппарат. Далее представлены графики движения частиц в рабочей зоне циклонного аппарата и график составляющих скоростей газа в циклоне.

Для решения представленной системы был написан программный модуль в программном продукте Visual Studio 2010. В программу вводятся начальные данные, и нажимается кнопка пуск, после чего выводятся результаты расчета. На рис.1 изображена форма ввода начальных данных: dt_max - максимальный диаметр частицы, м; go_g - плотность газа, $кг/м^3$; w_max - максимальная скорость газа, м/с; ds - средний диаметр частицы, м; ws - средняя скорость частицы, м; go_t - плотность частицы, м; nu_g - вязкость газа, $мПа \cdot с$; F_vh - площадь сечения входного патрубка, $м^2$; F_kol - площадь сечения рабочей зоны аппарата, $м^2$; R - радиус частицы, мкм.

Графическая интерпретация результатов счета представлена на рис. 2 - 4.

На рис. 2. показан график движения частиц в цилиндрической системе координат. На нем видно, что угловая составляющая ($a4(z2)$) постоянна, а радиальная и z составляющая изменяются, как и должно быть исходя из математической модели.

Как видно из рис. 3 осуществлен переход от цилиндрической системы координат в прямоугольную и более наглядно показано как двигаются частицы. Частицы движутся к нижней части циклона, и на графике где их концентрация уплотняется, они покидают циклон.

Form1

dt_max	50
ro_g	1.184
w_max	6
ds	5
ws	0.631
ro_t	2500
nu_g	1.45
F_vh	0.1099
F_kol	0.12
R	12

СТАРТ

Рис. 1 – Форма ввода начальных данных для расчета движения и сепарации частиц

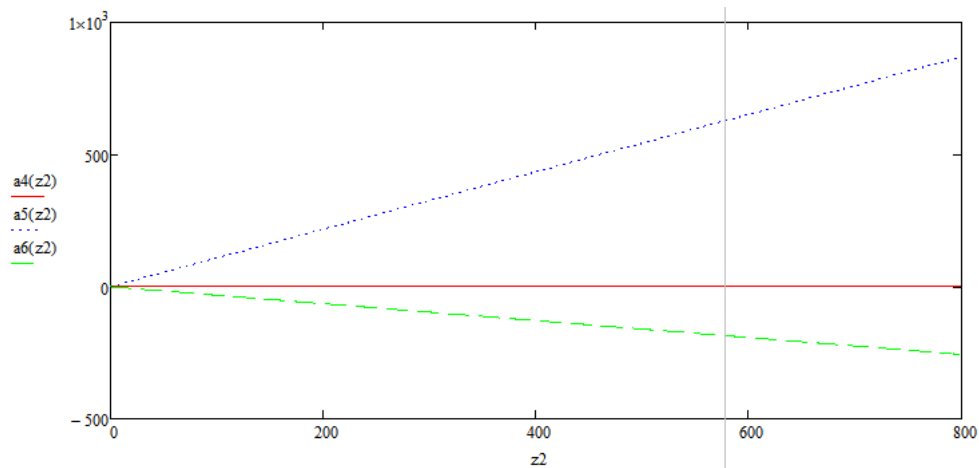


Рис. 2 – График движения и сепарации частиц в циклонном аппарате

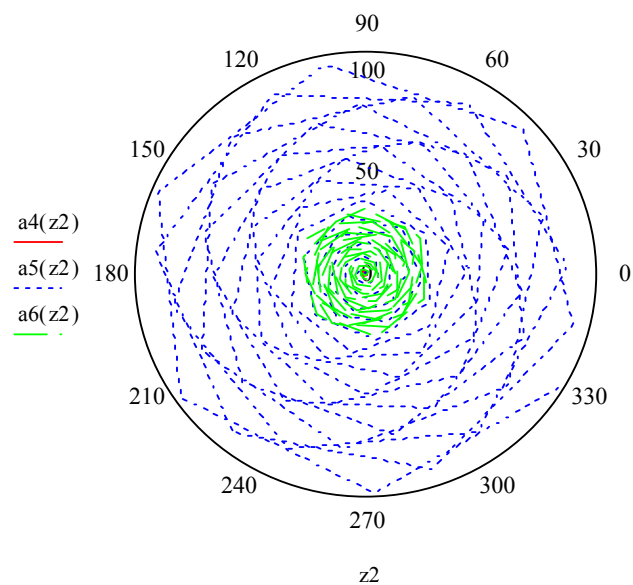


Рис. 3 – График движения частицы в циклонном аппарате

На рис.4. видно, що швидкість газу по всім складовим не змінюється, т.е. газ в робочій зоні рухається з постійною швидкістю, і значить частинки не будуть покидати газовий потік до того часу як вони досягнуть нижньої частини циклона і будуть відокремлені.

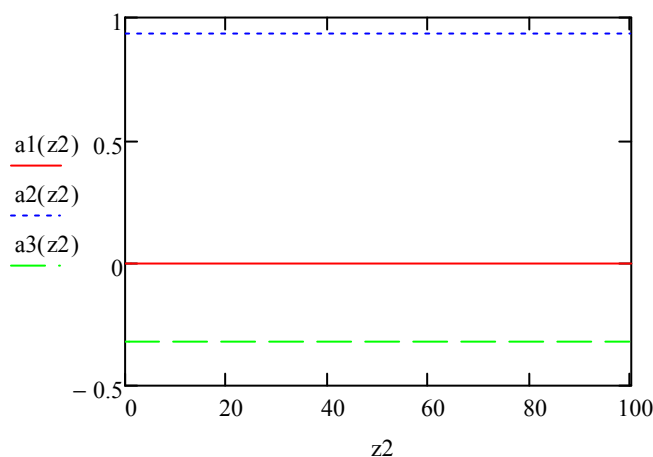


Рис.4 – Графік швидкості газу в робочій камері циклона

Частинки в циклонному апараті видаляються достатньо добре при зростанні газового потоку, і розміра частинок до 100 мкм. Хоча при деяких швидкостях спостерігається винос частинок з запыленного потоку і потрапляння їх в чистий потік (звичайно відбувається якщо частина не послідувала за потоком, т.е. не було часу релаксації частинки).

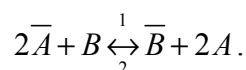
1. *Арсеньев, В.В.* Математическая модель процесса пылеулавливания в циклонном аппарате [Текст] / В.В. Арсеньев, С.А. Богатых. – Ленинград, 1983. – 15 с. – Библиогр.: с. 14-15.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ РІВНОВАЖНОГО ОБМІНУ РІЗНОЗАРЯДНИХ ІОНІВ

Концевой А.Л., Концевой С.А., Таргонська О.О.

Національний технічний університет України «КПІ», kontsev@xtf.kpi.ua

Рівновага іонного обміну. Реакції обміну, наприклад, $2\text{RNa} + \text{Ca}^{2+} = \text{R}_2\text{Ca} + 2\text{Na}^+$ за участю двовалентних (двозарядних) іонів, наприклад, обмін іонів Mg^{2+} , Ca^{2+} - (далі позначено як В) на H^+ (знесолення води) або Na^+ (пом'якшення води) – (позначено А) – це найпоширеніші випадки при обробці води, при цьому частина іонів \bar{A} в іоніті замінюється іонами \bar{B} :



В стані рівноваги швидкості прямої і оборотної реакцій рівні і згідно закону діючих мас:

$$k_1 \cdot Q_A^2 \cdot C_B = k_2 \cdot Q_B \cdot C_A^2 \quad (1)$$

де k_1 , k_2 – константи швидкості прямої і оборотної реакцій; $Q_A = \frac{q_A}{q_0}$, $Q_B = \frac{q_B}{q_0}$ — відносні

концентрації іонів А та В, що обмінюються, у фазі іоніту; $C_A = \frac{c_A}{c_0}$, $C_B = \frac{c_B}{c_0}$ — відносні

концентрації іонів А та В у фазі розчину, при цьому концентрації А і В у розчині $c_A + c_B = c_0$,