электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 66.074.2

Моделирование аэродинамического захвата аэрозольных частиц на волокне

***Степанова А.А.**, студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана,
кафедра «Экология и промышленная безопасность»

Научный руководитель: Спиридонов В.С., к.т.н, доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана
e9@mx.bmstu.ru

Введение. Контроль над загрязнением воздушного бассейна в промышленном процессе – это важная задача, решением которой занимается большое количество инженеров и ученых. В настоящее время в технике широко применяются различные аэрозольные фильтры для улавливания аэрозольных частиц. Среди них тканевые, зернистые и волокнистые фильтры.

Наибольшее применение получили волокнистые фильтры. Такие фильтры применяются в системах вентиляции и кондиционирования для очистки газовых выбросов от твердых и жидких частиц.

Улавливание частиц волокнистыми фильтрами осуществляется за счет аэродинамического захвата. Он основан на том, что газовый поток, проходящий через фильтр, подносит частицы вплотную к улавливающему материалу, при этом улавливание осуществляется с помощью механизма близкого взаимодействия. В каждом частном случае роль механизма близкого взаимодействия меняется в зависимости от относительных размеров и скорости частиц, от типа улавливающего материала, от присутствия электростатических или гравитационных сил [1].

К основным видам близкого взаимодействия относятся: инерционное соударение, перехват и диффузия. Любая частица улавливается за счет действия всех трех механизмов одновременно. Но в каждом отдельном случае преобладает влияние того или иного механизма. Так для частиц размером менее 0,4 мкм преобладает влияние механизма диффузии, для частиц размером более 0,8…1 мкм – механизм инерционного взаимодействия, для крупных частиц – перехват.

Для каждого механизма были разработаны математические модели. Для оценки количества частиц, удаленных из газа за счет броуновского движения, рассчитывают среднее расстояние, пройденное диффундирующей частицей за это время, и эффективность улавливания определяется путем сравнения объема газа, очищенного диффузией, с общим объемом газа, прошедшего через пылеуловитель [1]. Этот метод разработан Лэнгмюром. Он рассчитал, используя теорию «случайных блужданий», что слой покоящегося газа, очищенный от частиц, диффундирующих к поверхности, может быть найден из уравнения

$$x = \sqrt{\frac{4D_{Д} \cdot t}{\pi}}$$

где $D_Д$ – коэффициент диффузии частиц; t – время, с.

Инерционное столкновение. Если в газовый поток, протекающий через пылеуловитель, введен аэрозоль, частицы аэрозоля будут следовать по линиям газового потока до тех пор, пока они не начнут отклоняться вблизи улавливающего материала. Благодаря своей массе частицы обладают достаточным моментом инерции для того, чтобы двигаться прямолинейно по направлению к улавливающему материалу, прорываясь через линии тока. Внешние силы, например, сила тяжести, будут способствовать этому эффекту (рис.1).

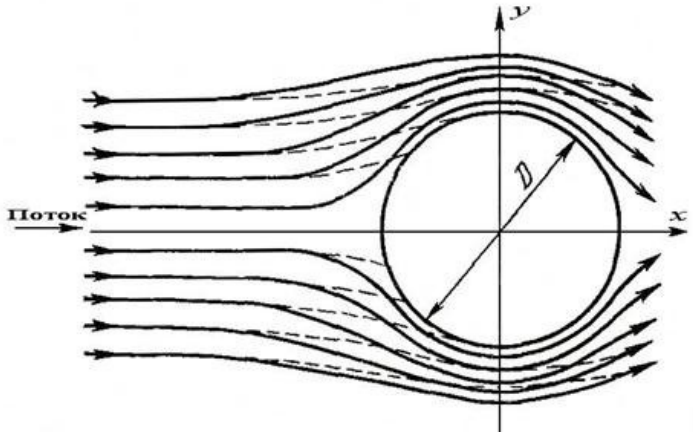


Рис. 1. Схема обтекания цилиндра

Эффективность осаждения частиц на обтекаемом теле из прямолинейного потока можно определить как отношение числа осажденных на теле частиц к числу частиц, центры которых прошли бы через тело, если бы двигались все время прямолинейно. Для

нахождения эффективности следует определить крайние траектории частиц, на которых центры частиц еще соприкасаются с телом. Если обозначить через h расстояние от предельных траекторий до центральной линии тока (направленной к оси цилиндра) на бесконечно большом расстоянии от тела, то $\eta = \frac{h}{R}$ (рис.2). Согласно вышесказанному в случае чисто инерционного осаждения эффективность зависит только от числа Stk, параметра инерционного столкновения [2].

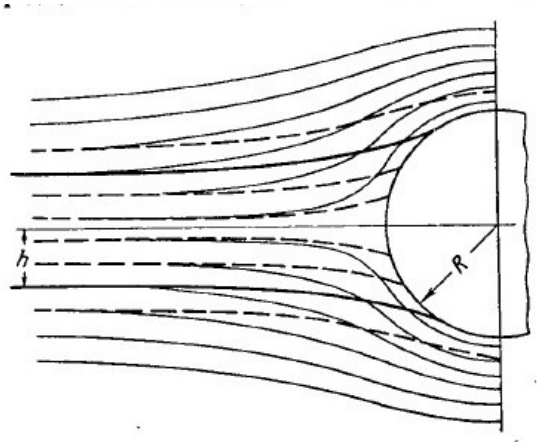


Рис. 2. Инерционное осаждение частиц

В настоящее время во всех расчетах используется кривая эффективности, построенная исходя из рассчитанных и экспериментально подтвержденных скоростей при значениях $Re_c = \frac{D \cdot W \cdot \rho}{\mu} = 10$, полученных Томом. Он построил профили скоростей вблизи волокна для Re_c=10 и рассматривал движение частиц в этом поле скоростей. Результаты измерений могут быть выражены теоретическим соотношением:

$$\eta = \frac{Stk^3}{Stk^3 + 0{,}77 \cdot Stk^2 + 0{,}22} \qquad (1)$$

где Stk – параметр инерционного столкновения [1].

Расчет этой формулы был очень трудоемкий, в настоящее время все ее используют, не пересчитывая для других чисел Рейнольдса, считая, что она справедлива при всех значениях числа Рейнольдса, характерных для волокнистых фильтров.

Условия моделирования. Для подтверждения формулы (1) и проверки эффективности улавливания нами использован современный метод вычисления в программе *STAR CCM+*.

Расчет проводился на основе модели цилиндрического волокна, расположеного перпендикулярно направлению движения газового потока. Так как задача симметричная рассмотрена половина волокна (рис.3).

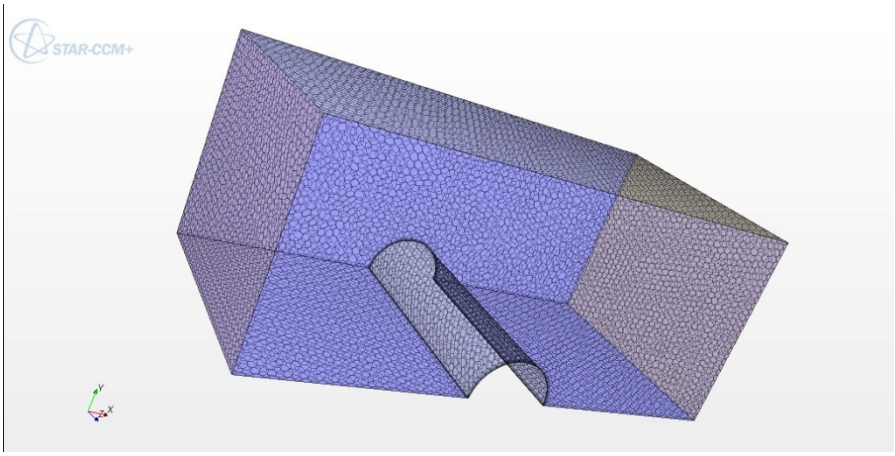


Рис. 3. Модель цилиндрического волокна

Моделирование проведено для грубоволокнистых фильтров, улавливающих аэрозольные частицы в основном за счет инерционного эффекта. В этих фильтрах обычно используются волокна диаметром от 4 до 20 мкм, был взят средний диаметр 10 мкм. Для проверки результатов, полученных Томом, были заданы значения Re_c 1, 5, 7.

При моделировании области течения нижние и боковые стенки заданы нами, как поверхности симметрии, верхняя – как скользящая стенка, а волокно как нескользящая стенка.

Рассмотрен ламинарный поток несжимаемого воздуха. Воздух (с плотностью 1,18 кг/м^3 и динамической вязкостью 1,8*10^{-5} Па*с) при стандартном давлении (100 кПа) входит в модель со скоростями, рассчитанными при выбранных выше значениях числа Рейнольдса, и обтекает волокно. Предполагается, что свойства потока неизменны. Поток воздуха содержит твердые аэрозольные частицы с плотностью 2500 кг/м^3 и диаметром равным 0,5; 0,8; 1; 1,5; 2 мкм. Считалось, что удар частиц о поверхность волокна абсолютно неупругий, т.е. частицы коснувшись поверхности прилипают к ней.

Результаты. В результате получены следующие поля распределения скоростей при различных значениях числа Рейнольдса:

- для Re=7

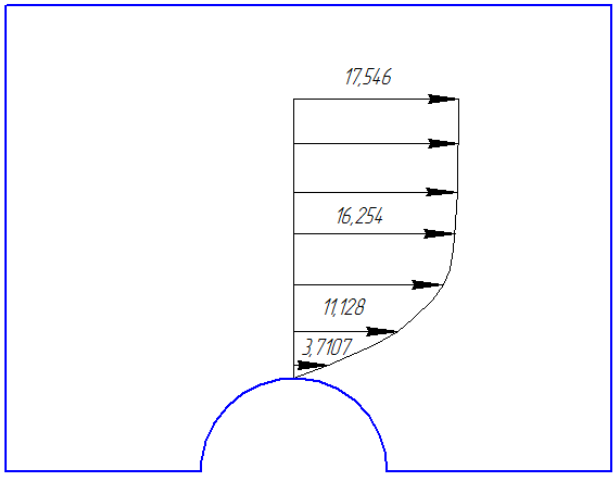


Рис. 4. Распределение скоростей вблизи волокна для Re_c=7

- для Re=5

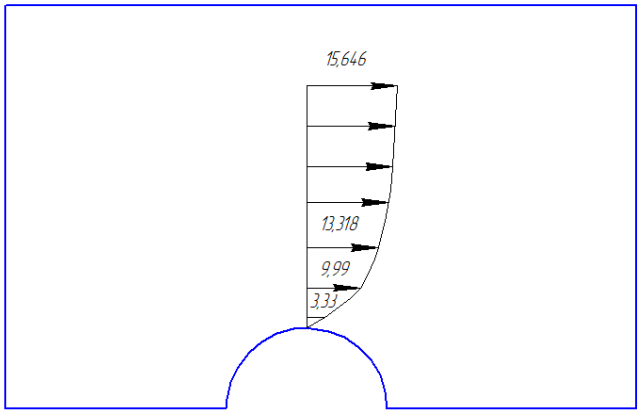


Рис. 5. Распределение скоростей вблизи волокна для Re_c=5

- для Re=1

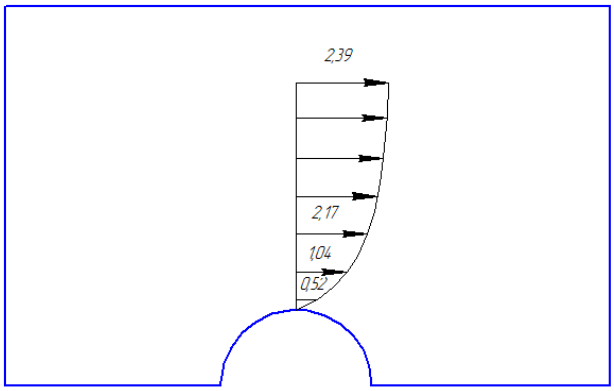


Рис. 6. Распределение скоростей вблизи волокна для Re_c=1

Результаты проведенных измерений представлены в таблице.

Число Рейнольдса	Эффективность улавливания η, % от диаметра частиц d, мкм				
	0,5	0,8	1	1,5	2
1	0	35	40	73	80
5	52	75	80	87	93
7	55	77	85	93	95

Полученные результаты нанесли на кривую, построенную по формуле Тома.

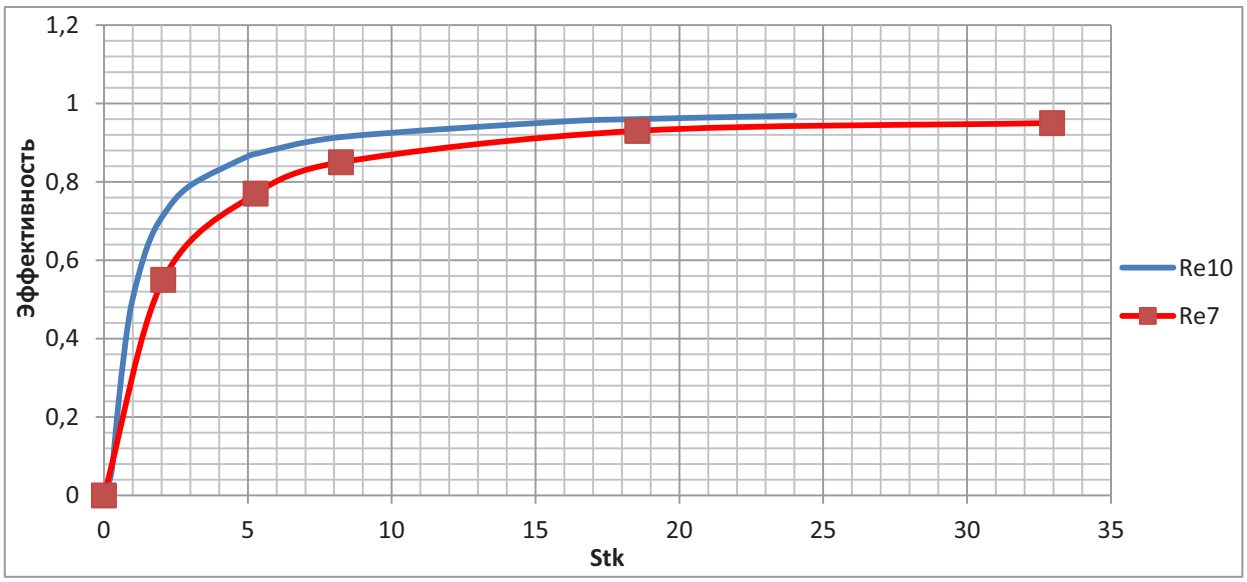


Рис. 7. Кривая эффективности для Re_c=7

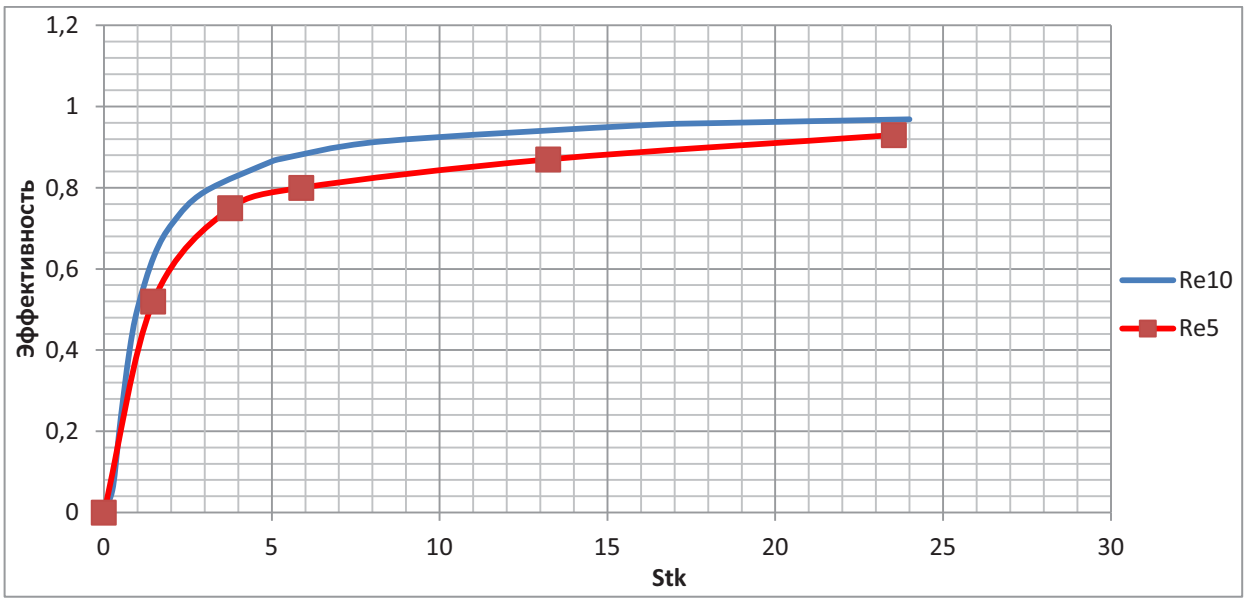


Рис. 8. Кривая эффективности для Re_c=5

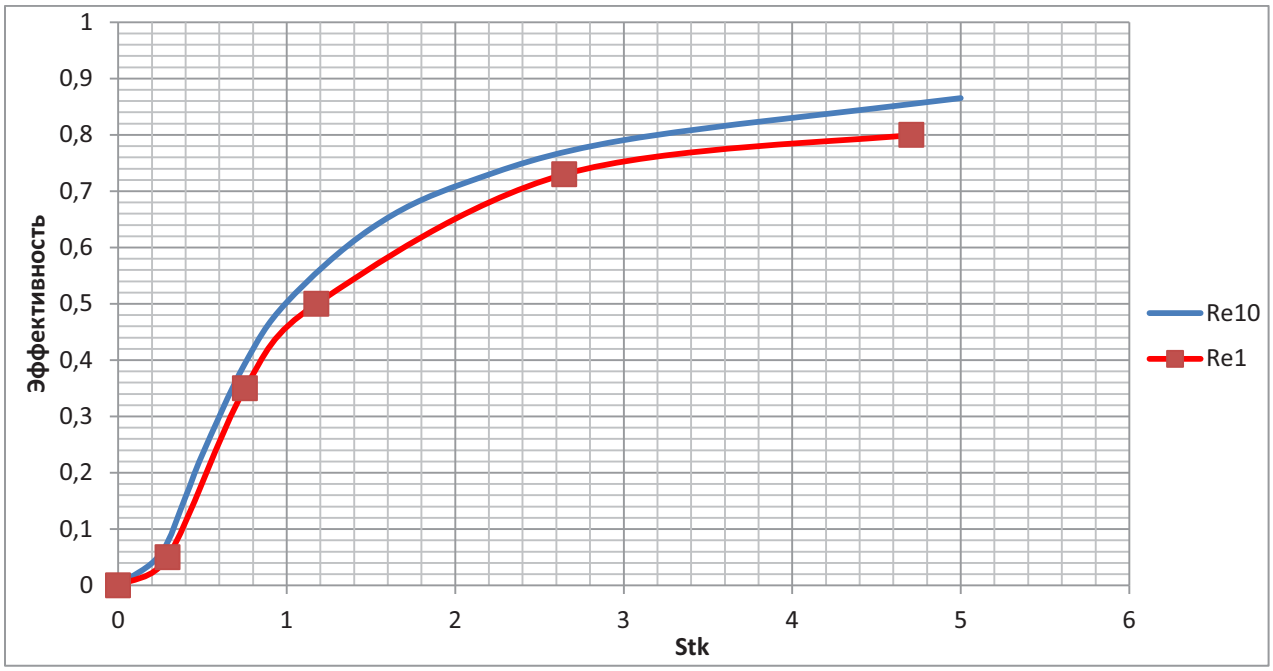


Рис. 9. Кривая эффективности для Re_c=1

Вывод. Наблюдается удовлетворительное согласование с результатами расчета по формуле Тома. Использованный подход позволяет применять возможности программы *STAR CCM+* для анализа фильтровальных характеристик различных волокновых материалов, применяемых в промышленности, что упрощает и ускоряет проведение исследования.

Список литературы

1. Страус В. Промышленная очистка газов: пер. с англ. М.: Химия, 1981. 616 с.
2. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М.: АН СССР, 1955. 353 с.
3. Ужов В. Н., Мягков В. Н. Очистка промышленных газов фильтрами / под ред. В.Н. Ужова. М.: Химия, 1970. 319с.