

УДК 674:621.928.93

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ ПЫЛИ В
ЦИКЛОНЕ**

Шевченко С.А., к.т.н., Войтов А.В.

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. П. Василенко)*

Разработана математическая модель движения частицы пыли в циклоне с подвижным ротором. Полученные зависимости параметров траектории движения частиц и зависимости диаметра частицы, уловленной в циклоне, от физико-механических свойств пыли и геометрических параметров циклона.

Актуальность. В настоящее время к промышленным предприятиям предъявляются все более жесткие требования по ограничению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Процесс механической обработки древесины на высокопроизводительном технологическом оборудовании

сопровождается значительным выделением древесной пыли, которая является возбудителем многих заболеваний. Необходимость эффективно собирать пыль и использовать её в технологическом процессе также возникает в новых энергосберегающих технологиях производства твердого топлива (брикетов и пеллет) из соломы, измельченной до состояния пыли.

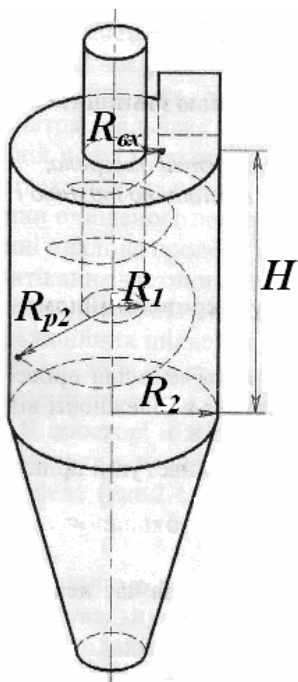
Анализ публикаций. Теоретические аспекты разработки конструкций воздухоочистителей исследованы в работах А.И. Пирумова [1], Г.Ф. Козориза [2, 3], В.А. Ларионова [4], Е.М. Лютого [5], А.Н. Александрова [6]. Указанные исследования направлены на повышение эффективности очистки воздуха (уменьшение размеров улавливаемых частиц) и уменьшение гидравлического сопротивления очистных устройств; они особенно актуальна для деревообрабатывающей промышленности, где доля энергетических затрат на аспирацию может достигать 50% [5]. С целью снижения количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу создаются новые высокоэффективные установки – фильтрующие, электростатические и циклоны. Как правило, улучшение очистки воздуха в таких устройствах достигается за счет увеличения энергетических затрат, что обуславливает необходимость дальнейших исследований процесса очистки воздуха от древесной пыли.

Цель исследования – выполнить математическое моделирование движения частицы пыли в циклоне, необходимое для разработки новых высокоэффективных циклонов с вращающимся ротором для очистки воздуха от древесной пыли.

Математическое моделирование движения частицы пыли в циклоне. Моделированию движения частицы в циклоне посвящены работы А.И. Пирумова [1] и Е.М. Лютого [5]. В указанных работах разработаны математические модели циклонов с внешней фильтровальной стенкой. Данные модели были взяты за основу и получили дальнейшее развитие для циклонов с вращающимся ротором. Вращение ротора приводит к увеличению скорости воздушного потока в циклоне, вследствие чего возрастают инерционные силы,

действующие на частицы пыли, и увеличивается вероятность достижения стенки циклона частицей и её осаждения.

Пылевоздушная смесь подается на вход в циклон и начинает вращаться вокруг его оси в промежутке между корпусом 1 и выхлопной трубой 2, рис. 1. Одновременно поток совершает поступательное движение вниз, пока не достигнет нижней конусной части циклона. Вследствие повышенного гидравлического сопротивления, воздух, свободный от пыли, поворачивается на 180° , переходит во внутренний поток и выходит в атмосферу через выхлопную трубу. Во время поворота воздуха к выхлопной трубе (радиальный сток) возможен захват мелких частиц пыли и унос в выхлопную трубу, что снижает степень очистки воздуха в циклонах.



1 – корпус циклона; 2 – выхлопная труба

Рис. 1. Схема движения частицы пыли в циклоне:

В [5] получена формула для моделирования положения частицы пыли в циклоне в зависимости от времени нахождения в нем:

$$R(t) = \sqrt{2(\theta V_\tau^2 + G)t + R_{ex}^2} . \quad (1)$$

$$\theta = \frac{m}{3\pi\mu d} = \frac{d^2}{18\mu} \rho_n, \quad (2)$$

где θ – время релаксации частицы, с; G – доля воздуха, который выходит через боковые стенки; m – масса частицы, кг; μ – динамическая вязкость воздуха, Па·с; d – диаметр частицы, м; ρ_n – плотность материала пыли, кг/м³.

Далее будем рассматривать движение частицы пыли в направлении от оси циклона в относительных величинах расстояния:

$$r(t) = \frac{R(t)}{R_{\text{ex}}}, \quad (3)$$

$$r(t) = \sqrt{\frac{2(\theta V_{\tau}^2 + G)}{R_{\text{ex}}^2} t + 1}, \quad (4)$$

где r – относительное расстояние частицы от оси циклона.

Графики функции относительного расстояния $r(t)$, построенные при различных значения параметра $p = 2(\theta V_{\tau}^2 + G) / R_{\text{ex}}^2$, приведены на рис. 2.

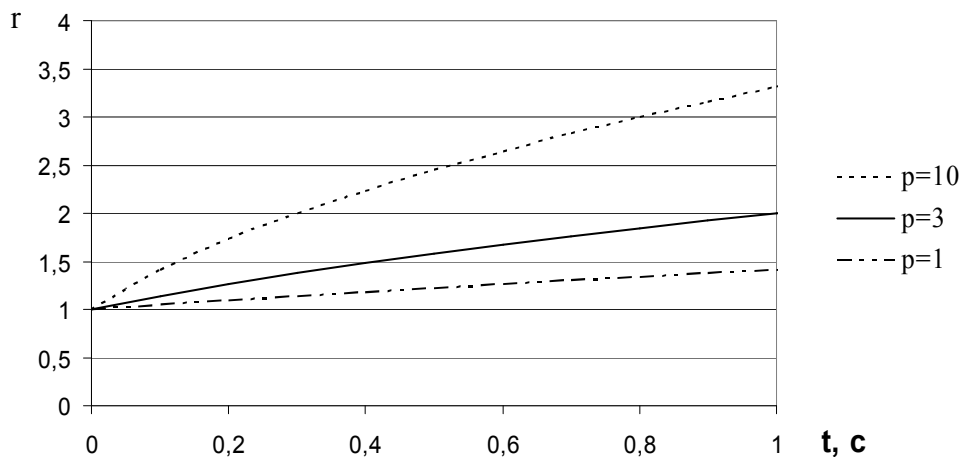


Рис. 2. Зависимость относительного перемещения частицы от времени

Примем допущение, что все частицы, достигшие внешней стенки за время нахождения в нисходящем потоке воздуха, будут удалены из потока. Определим длительность нахождения частицы в нисходящем потоке:

$$t_H = \frac{v_H}{Q}, \quad (5)$$

$$v_H = \pi(R_2^2 - R_1^2)H, \quad (6)$$

$$t_H = \frac{\pi(R_2^2 - R_1^2)H}{Q}, \quad (7)$$

где t_H – длительность нахождения частицы в нисходящем потоке, с;

v_H – объем циклона, в котором существует нисходящий поток, м³;

H – высота нисходящего потока, м.

Преобразуем (4) с учетом (7) и определим максимальное расстояние от оси циклона, которое частица сможет достичь за время нахождения в нисходящем потоке:

$$r_{\max} = r(t_H), \quad (8)$$

$$r_{\max} = \sqrt{\frac{2\pi(\theta V_\tau^2 + G)(R_2^2 - R_1^2)H}{R_{\text{ex}}^2 Q} + 1}, \quad (9)$$

где r_{\max} – максимальное относительное смещение частицы.

Перейдем от абсолютных значений радиусов элементов циклона к их относительным значениям:

$$k_1 = \frac{R_1}{R_{\text{ex}}}, \quad k_2 = \frac{R_2}{R_{\text{ex}}}, \quad (10, 11)$$

$$r_{\max} = \sqrt{\frac{2\pi(\theta V_\tau^2 + G)(k_2^2 - k_1^2)H}{Q} + 1}. \quad (12)$$

где k_1 , k_2 – коэффициенты, характеризующие геометрию циклона.

Определим относительное смещение частицы от оси циклона, необходимое для достижения стенки:

$$r_{\max} \geq \frac{R_2}{R_{\text{вх}}} . \quad (13)$$

Следовательно, с учетом (11),

$$r_{\max} \geq k_2 . \quad (14)$$

Для того чтобы определить геометрические параметры циклона, необходимые для достижения стенки частицей с заданным временем релаксации, преобразуем (12) с учетом (14):

$$\sqrt{\frac{2\pi(\theta V_{\tau}^2 + G)(k_2^2 - k_1^2)H}{Q}} + 1 \geq k_2 , \quad (15)$$

$$\frac{2\pi(\theta V_{\tau}^2 + G)(k_2^2 - k_1^2)H}{Q} \geq k_2^2 - 1 . \quad (16)$$

Поскольку коэффициенты, входящие в (13), нормированы к радиусу входа частиц в циклон, то и высоту нисходящего потока выразим через этот же радиус:

$$H = k_H R_{\text{вх}} , \quad (17)$$

$$\frac{2\pi(\theta V_{\tau}^2 + G)(k_2^2 - k_1^2)k_H R_{\text{вх}}}{Q} \geq k_2^2 - 1 , \quad (18)$$

где k_H – отношение высоты нисходящего потока к радиусу входа частиц в циклон.

Преобразуем (18) так, чтобы в левой части неравенства остался лишь безразмерный комплекс, характеризующие режим работы, производительность и размер циклона, а в правой – коэффициенты, зависящие от соотношения его частей:

$$\frac{(\theta V_{\tau}^2 + G) R_{ex}}{Q} \geq \frac{k_2^2 - 1}{2\pi(k_2^2 - k_1^2)k_H}. \quad (19)$$

Полученное неравенство можно использовать для выбора конструктивных параметров циклона по заданной производительности и времени релаксации частиц, поскольку тангенциальную скорость, на практике, выбирают из весьма ограниченного диапазона скоростей [5].

Преобразовав (19) с учетом (2), можно получить неравенство для выбора конструктивных параметров циклона, в которое входит диаметр улавливаемых частиц.

$$\frac{(\frac{d^2}{18\mu} \rho_n V_{\tau}^2 + G) R_{ex}}{Q} \geq \frac{k_2^2 - 1}{2\pi(k_2^2 - k_1^2)k_H}. \quad (20)$$

В частности, при $G=0$ получим:

$$d \geq \sqrt{\frac{k_2^2 - 1}{(k_2^2 - k_1^2)k_H} \cdot \frac{9\mu Q}{\pi R_{ex} \rho_n V_{\tau}^2}}. \quad (21)$$

Вывод: получены зависимости, позволяющие выбрать конструктивные параметры циклона в зависимости от производительности и размеров улавливаемых частиц.

Перспективным направлением дальнейших исследований является уменьшение размеров улавливаемых частиц пыли.

Список литературы.

1. Пирумов А.И. Аэродинамические основы инерционной сепарации / Под. ред. Н.Я. Фабриканта. – М.: Госстройиздат, 1961. – 121 с.
2. Козориз Г.Ф. Пневматический транспорт деревообрабатывающих предприятий. – М.: Машиностроение, 1968. – 122 с.
3. Козориз Г.Ф. Пневматические транспортные системы деревообрабатывающих предприятий. – Львов: Вища шк. Изд-во Львовского ун-та, 1985. – 128 с.
4. Ларионов В.А., Созинов В.П. Регулируемые системы аспирации в деревообрабатывающей промышленности. – М.: Лесн. промыш-ть, 1989. – 240с.
5. Лютий Є.М., Тисовський Л.О., Дадак Ю.Р., Ляшеник А.В. Циклони в деревообробній промисловості. – Львів: Редакція журналу «Український пасічник», 2009. – 148 с.
6. Александров А.Н., Козориз Г.Ф. Пневмотранспорт и пылеулавливающие сооружения деревообрабатывающих предприятий. Справочник. / Под. ред. А.Н. Александрова. – М.: Лесн. пром-ть, 1988. – 248 с.

Анотація

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РУХУ ЧАСТКИ ПИЛУ В ЦИКЛОНІ

Шевченко С.А., Войтов А.В.

Розроблена математична модель руху частинки пилу в циклоні з рухомим ротором. Отримані залежності параметрів траєкторії руху частинок та залежності діаметру частинки, вловлюваної у циклоні, від фізико-механічних властивостей пилу та геометричних параметрів циклону.

Abstract

MODELLING OF MOVEMENT PROCESS OF DUST PARTICLE IN CYCLONE

Shevchenko S.A., Voytov A.V.

The mathematical model of movement of a dust particle in a cyclone with a mobile rotor is developed. The received dependences of parameters of a particle movement trajectory and dependence of diameter of the particle caught in a cyclone, on physicommechanical properties of a dust and geometrical parameters of a cyclone.