

К ПОСТРОЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ЗАПЫЛЁННОГО ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В ЗОНЕ ДООЧИСТИТЕЛЯ РАЗРАБОТАННОГО ПРЯМОТОЧНОГО ЦИКЛОНА

Харченко С.А., к.т.н., доц., Гаек Е.А., инж.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

Предложена математическая модель динамики дисперсной фазы между дисками доочистителя, получены уравнения угловых скоростей вращения дисков и уравнения радиальной скорости потока между дисками.

Постановка проблемы.

Перспективным способом повышения эффективности процесса очистки является комбинирование устройств различного принципа действия путем применения разработанного прямоточного циклона [1].

Основным рабочим органом разработанного циклона является многодисковый доочиститель [2]. Доочистка запыленного воздушного потока происходит за счет образованного давления между двумя близкорасположенными дисками. При этом вращение дисков обеспечивает отбрасывание дисперсных частиц в зону улавливания. Движение потока в зазорах между дисками доочистителя зависит от ряда факторов. В частности, зависит от расстояния между дисками и скорости их вращения [3]: при малом зазоре эпюра скоростей потока между дисками может незначительно отличаться от параболической. С увеличением зазора геометрия потока становится сложной, весь поток разделяется на два пристенных слоя. При этом скорость этих слоёв с ростом оборотов увеличивается, а толщина слоёв уменьшается. Поток между ними может быть либо неподвижен относительно поверхности дисков, либо медленно двигаться в противоположную вращению сторону, а составляющая скорости частиц увеличивается от стенки к середине междискового зазора.

Уменьшение окружной скорости частиц при движении потока вдоль тарелок обусловлено действием кориолисовых сил [4, 5]. Чем дальше частицы находятся от поверхности дисков, тем в меньшей степени они увлекаются ими из-за уменьшения сил трения, и, следовательно, они должны отставать от вращения дисков в большей степени, чем частицы, расположенные ближе к поверхности дисков.

Вследствие того, что поток отстает от вращающегося диска, действие центробежной силы уменьшается, так как последняя зависит от квадрата окружной скорости. Таким образом, части потока, которые в меньшей мере отстают от дисков, испытывают большее воздействие центробежной силы и движутся вдоль образующей быстрее средних слоев потока, значительно отстающих от вращения дисков и теряющих в большей мере окружную

скорость. Уменьшение окружной скорости воздушного потока весьма мало по сравнению с абсолютными скоростями вращения дисков в неподвижном пространстве. Но движение воздушного потока в зазорах между дисками определяется компонентами относительной скорости, которые вполне сопоставимы друг с другом.

Целью работы построение математической модели динамики запылённого воздушного потока между дисками доочистителя в разработанном прямоточном циклоне.

Основной материал. Режим течения определяется по числу Рейнольдса. При $Re_{\omega} > 3 \cdot 10^5$ течение турбулентное. Комбинация числа Рейнольдса и относительного осевого зазора определяет существование четырех возможных режимов течения: ламинарное или турбулентное течение с отдельными или слившимися пристеночными слоями. Заметим, что в многодисковом доочистителе, как показывают оценки, устанавливается ламинарный режим течения с $Re_w \approx (0,7 \div 1,5) \cdot 10^3$.

Толщина пограничного слоя на основании теоретических расчётов определяется уравнением:

$$\delta \approx \frac{R}{\sqrt{Re_{\omega}}}, \quad (1)$$

где: R – радиус диска доочистителя.

Для оптимальной работы доочистителя необходимо, чтобы оптимальный зазор между дисками был таким, чтобы пристеночные слои сливались. Если между ними образуется зазор, то в нем радиальная скорость течения будет выше и, следовательно, частицы будут втягиваться. С другой стороны, окружная скорость понизится из-за отставания потока от поверхности вращающегося диска и, значит, уменьшится центробежная сила, выталкивающая дисперсные частицы из зазора. Если же зазор между дисками будет слишком мал, то возрастет гидравлическое сопротивление.

Для ламинарного течения толщина пограничного слоя не зависит от радиуса и равна:

$$\delta \approx \sqrt{\frac{\nu}{\Omega}}, \quad (2)$$

где: Ω - угловая скорость вращения дисков [4],
 ν – кинематическая вязкость.

Очевидно, зазор между дисками не должен быть больше, чем удвоенная

толщина пограничного слоя, т.е:

$$h < 2\sqrt{\frac{\nu}{\Omega}} \quad (3)$$

Так как в противном случае угловая скорость потока в междисковом пространстве будет отставать от угловой скорости вращения дисков доочистителя (рис.1).

С другой стороны, радиальная скорость потока между дисками определяется количеством дисков в доочистителе и их диаметром. Так как весь поток поступающего воздуха должен пройти через доочиститель (через зазоры

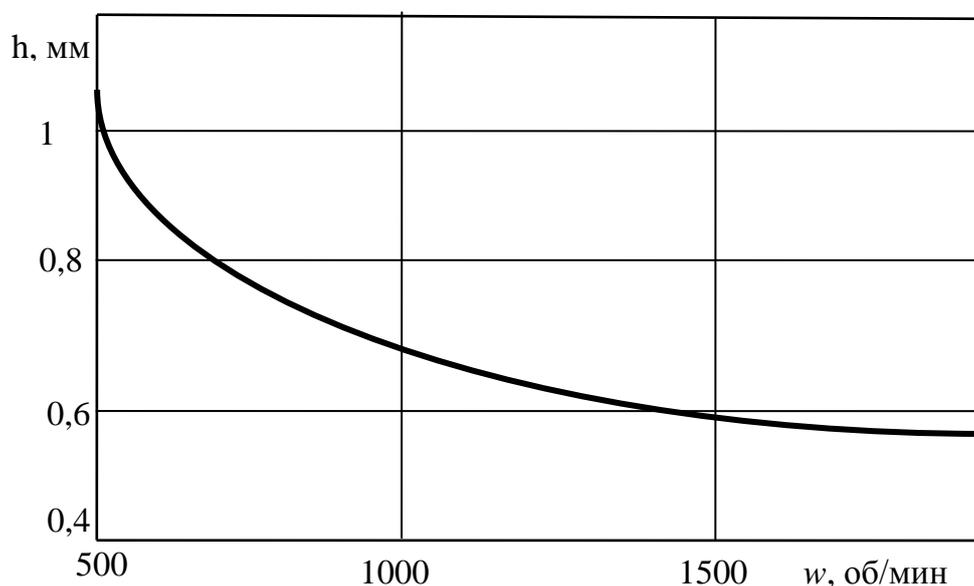


Рис. 1 – Зависимость оптимального зазора между дисками доочистителя от частоты вращения его дисков.

между дисками и центральное отверстие доочистителя), то его радиальная скорость между дисками определяется уравнением (4):

$$U = \frac{(D_0^2 - D_d^2)U_0}{8R(n-1)h} \quad (4)$$

где: n - число дисков доочистителя,

h - зазор между дисками (выбранный уравнением (3)),

D_0, U_0 - диаметр пылеосадочной камеры и осевая скорость потока в ней,

D_d - диаметр центрального отверстия доочистителя.

Чтобы течения остался ламинарным нужно ограничить скорость

вращения дисков, увеличивая их число:

$$n = 1 + \frac{(D_0^2 - D_d^2)U_0}{8R\nu} \frac{1}{\text{Re}}, \quad (5)$$

где: $\text{Re} < 2300$ соответствует ламинарному течению (рис. 2).

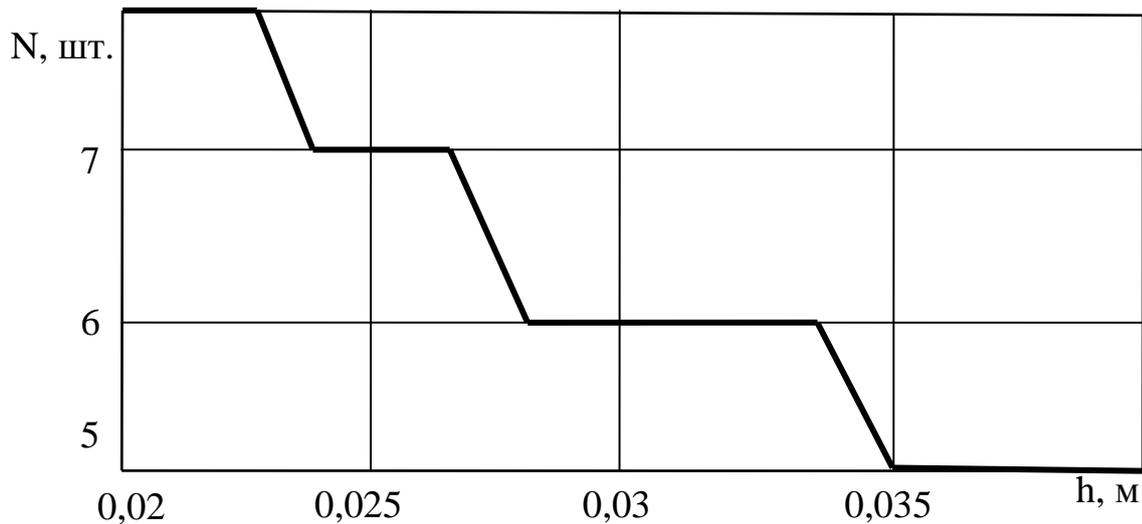


Рис. 2 – Обоснование внутреннего диаметра дисков доочистителя в зависимости от количества дисков

В оптимальной конструкции доочистителя диаметр центрального отверстия должен быть выбран так, чтобы с одной стороны уменьшить скорость потока через зазоры между дисками, а с другой стороны исключить попадание частиц в центральное отверстие:

$$2 \frac{1 - \left(\frac{D_d}{D_0}\right)^2}{\Omega_1^2} \frac{U_0}{l_0 \tau} \approx 4 \left(\frac{D_d}{D_0}\right)^2, \quad (6)$$

откуда:

$$D_d \approx D_0 \sqrt{\frac{\frac{U_0}{\Omega_1^2 l_0 \tau}}{2 + \frac{U_0}{\Omega_1^2 l_0 \tau}}}, \quad (7)$$

где: D_d - диаметр центрального отверстия доочистителя,
 U_0 - диаметр пылеосадочной камеры,
 Ω - угловая скорость вращения дисков,
 l_0 - ширина доочистителя.

Заметим, что величина времени релаксации τ зависит от диаметра частицы (6), потому при выборе центрального отверстия в (7) следует подставить среднее значение диаметра частиц, которые следует задержать при очистке (рис. 3).

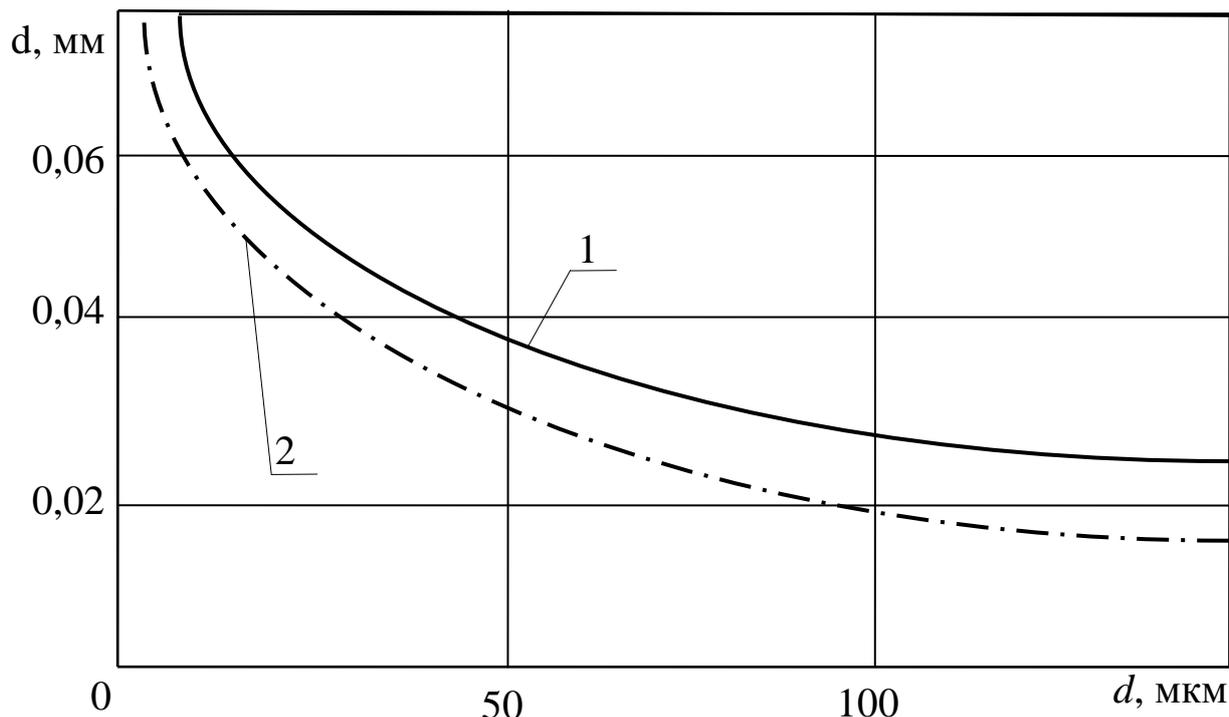


Рис. 3 – Зависимости влияния диаметра внутреннего отверстия дисков доочистителя на эффективность улавливания частиц дисперсной фазы при: 1- 1000 об/мин, 2 – 2000 об/мин ($N = 6$ шт; $h = 1$ мм; $\alpha = 20$; $b = 15$ мм).

Выводы.

Таким образом, установлено что для оптимальной работы многодискового доочистителя зазор между дисками был таким, что бы пристеночные слои сливались. Для разработанного прямоточного циклона получены диапазоны варьирования конструктивных параметров: расстояние между дисками $h = 0,9...1,0$ мм; диаметр внутреннего отверстия диска $d = 30...40$ мм. Полученные данные согласуются с экспериментальными значениями с погрешностью 5% [2].

Список использованных источников

1. Пат. на кор. мод. України 103446, ЦИКЛОН; В04С 3/00 /Тищенко Л.М., Харченко С.О., Борщ Ю.П., Гаєк Є.А.. Заявл. 11.12.2012; Опубл. 10.10.2013, Бюл. №19. – 3с.

2. Харченко С.О., Гаек Е.А. Способ повышения эффективности процесса очистки воздушного потока и разработка циклона аспирационных систем зерноочистительных машин/ Харченко С.О., Гаек Е.А. // Вісник ХНТУСГ: Механізація сільськогосподарського виробництва. – Харків:ХНТУСГ, 2013. – С.87-92.
3. Соколов В.И. Современные промышленные центрифуги. - М.: Машиностроение, 1967.- 523с.
4. Цаплин М.И. К расчету течения среды в зазоре между вращающимся диском и неподвижной ограничивающей стенкой. // Инженерно-физический журнал. – 1977. – Т.32. – №3. – С.435-442.
5. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. — М.: Высшая школа, 1995. — С. 156. — 416 с.
6. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. — М.: Наука, 1969. – 742с.

Анотація

ДО ПОБУДОВИ МОДЕЛІ ДИНАМІКИ ЗАПИЛЕНОГО ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ В ЗОНІ ДООЧИСНИКА РОЗРОБЛЕНОГО ПРЯМОТОКОВОГО ЦИКЛОНА

Харченко С.О., Гаек Є.А.

Запропоновано математичну модель динаміки дисперсної фази між дисками доочисника, отримані рівняння кутових швидкостей обертання дисків і рівняння радіальної швидкості потоку між дисками.

Abstract

BY THE CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE DYNAMICS OF DUSTY AIR FLOW IN THE ZONE DISK CLEANSE DEVELOPED UNIFLOW CYCLONE

S. Kharchenko, E. Gaek

A mathematical model of the dynamics of the dispersed phase between the discs cleanse obtained equation of angular velocity of rotation of disks and the equation of radial flow velocity between the disks.