

## К ПОСТРОЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ НЕСУЩЕЙ ФАЗЫ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ПРЯМОТОЧНОГО ЦИКЛОНА

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

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко)*

*Предложены способы к построению и последующему решению математической модели динамики запылённого воздушного потока в рабочей зоне разработанного циклона.*

**Постановка проблемы.** Производительность зерновых сепараторов связана с необходимостью улучшения процесса очистки воздушного потока от частиц примесей и пыли. Отделение таких частиц от воздушного потока происходит за счет центробежных и гравитационных сил. Проблему представляют легкие частицы, которые движутся в потоке. Отделение этих дисперсных частиц, вследствие их небольшой массы, весьма затруднительна. Авторами предложена конструкция прямоточного циклона с многодисковым доочистителем [1, 2].

Запыленный воздушный поток поступает в циклон на лопасти подвижного завихрителя, который вращается с помощью двигателя. Центробежные силы направляют дисперсные частицы к стенкам корпуса 1 и через отверстия в пылесадочную камеру. Очищенный воздушный поток выходит из циклона через диски доочистителя. За счет небольшого расстояния между дисками, и отверстия внутри оставшиеся дисперсные частицы не могут пройти и отбрасываются через отверстия в пылесадочную камеру.

**Целью работы** является построение математической модели поля скоростей несущей фазы в рабочей зоне разработанного циклона.

**Основной материал.** Осевая составляющая скорости запылённого воздушного потока начинает уменьшаться до нуля на торцевой стенке камеры из-за того, что поток проходит между дисками доочистителя. При этом радиальная составляющая скорости  $U_r = U_r(r)$ , направленная к оси камеры. Ее среднюю величину

получим из условия баланса массы воздуха, проходящего через циклон:

$$U_r(r) = \frac{(D_0^2 - D_d^2)U_0}{8rl_0}, \quad (1)$$

где  $l_0$  - ширина доочистителя,  $D_d$  - диаметр центрального отверстия доочистителя,  $d_0$  - диаметр камеры доочистителя,  $U_0$  - скорость воздушного потока,  $r$  – производная скорости.

Для эффективного отделения дисперсных частиц применяют по возможности более закрученные потоки, так как при этом возрастают центробежные силы, действующие на частицы. Однако, при больших углах закрутки  $\gamma = (45 \div 60)^\circ$  потока наблюдаются неравномерности осевой скорости и появление возвратных течений в приосевой зоне [3]. Поэтому угол закрутки потока  $\gamma$  должен быть ограничен и не превышать  $\gamma \leq 45^\circ$ :

$$\operatorname{tg} \gamma \approx \frac{\Omega_0 d_0}{2\sqrt{2}U_0}, \quad (2)$$

где  $\Omega_0$  - угловая скорость вращения вентилятора-завихрителя,  $d_0$  - диаметр вентилятора. При снижении скорости вращения, вентилятор будет создавать дополнительное гидравлическое сопротивление потоку воздуха, а при увеличении скорости – увеличится неравномерность осевой скорости потока.

На рисунке 1 – 2 показаны зависимости изменения угла наклона лопасти завихрителя от скорости воздушного потока и оборотов ротора. Для исследований угол наклона лопасти завихрителя варьировали в пределах  $10^\circ \div 50^\circ$ .

Вне зависимости от особенностей закручивающих устройств через определённое расстояние от выходного патрубка в следствии вязкой диффузии и турбулентной диссипации энергии в закрученном дисперсном потоке формируется естественный профиль скорости. Тангенциальная составляющая скорости закрученного потока вблизи оси вращения соответствует закону вращения твёрдого тела (так называемого «квазитвёрдое» вращение), а в периферийной – к закону постоянства циркуляций (так называемого «квазипотенциальное» вращение) [4, 5].

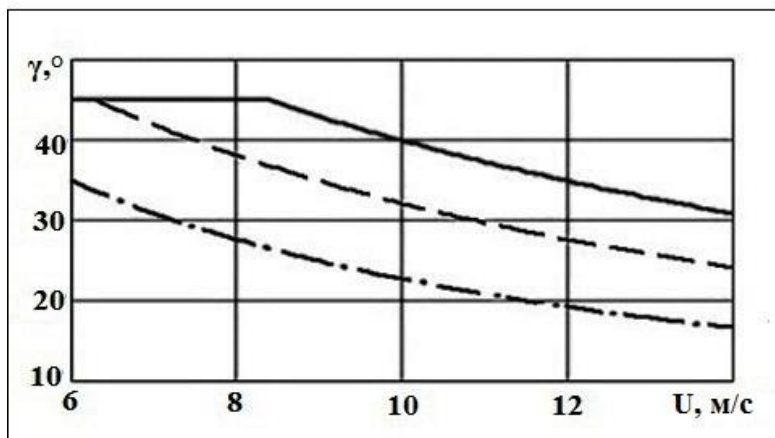


Рис. 1. Зависимости скорости воздушного потока от угла наклона лопастей завихрителя, при: **————** -  $N = 1000$  об/мин; **— · — · —** -  $N = 1500$  об/мин; **— · — · —** -  $N = 2000$  об/мин

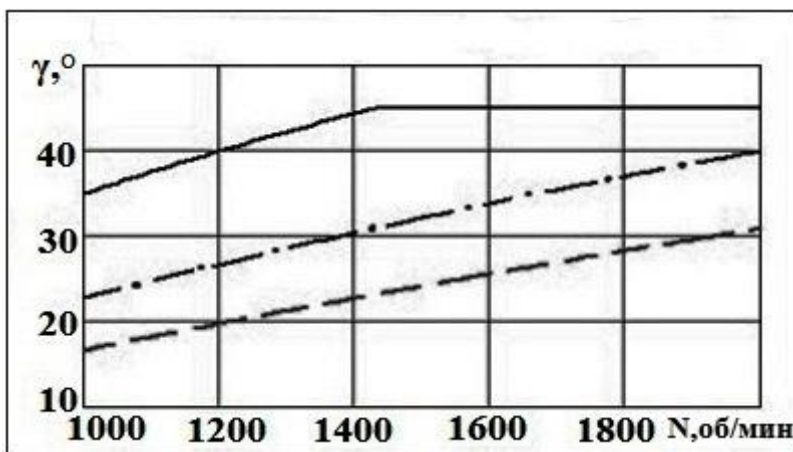


Рис. 2. Зависимости изменения скорости воздушного потока от оборотов ротора, при: **————** -  $U=6$  м/с; **— · — · —** -  $U=10$  м/с; **— · — · —** -  $U=14$  м/с.

Тогда из уравнения (1), (2) получим пренебрегая затуханием вращения вдоль оси камеры для определения тангенциальной составляющей скорости  $U_\varphi = U_\varphi(r)$  для установившегося потока в

цилиндрической системе координат [6-9] уравнение:

$$\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_\varphi}{\partial r} - \frac{U_\varphi^2}{r^2} = 0. \quad (3)$$

Его решение известно как вихрь Ранкина [10]:

$$U_\varphi(r) = \Omega_0 r \begin{cases} 1 & r \leq \frac{d_0}{2}, \\ \frac{\left(\frac{D_0}{2r}\right)^2 - 1}{\left(\frac{D_0}{d_0}\right)^2 - 1}, & r \geq \frac{d_0}{2}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $\Omega_0$  - угловая скорость потока, обусловленная работой вентилятора-завихрителя. Расположение границы  $r^*$  между зонами обычно определяется по максимуму тангенциальной скорости, т.е. соответствует радиусу завихрителя.

Уравнения (4) не учитывает затухание закрученного потока по длине канала. Если учесть затухание, то уравнение (3) следует записать в виде [11]:

$$\frac{\partial U_\varphi}{\partial z} = \frac{1}{\text{Re}} \left( \frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_\varphi}{\partial r} - \frac{U_\varphi^2}{r^2} \right). \quad (5)$$

Это уравнение может быть записано относительно локальной угловой скорости вращения потока  $\Omega = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r U_\varphi)$  в виде:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial z} = \frac{1}{\text{Re}} \left( \frac{\partial^2 \Omega}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Omega}{\partial r} \right). \quad (6)$$

Откуда с учётом [12]

$$\Omega = \Omega_0 \left( 1 - e^{-\frac{r^2}{r_0^2(z)}} \right), \quad (7)$$

где  $r_0(z) = \sqrt{\frac{4z}{Re}}$ .

Из уравнения (7) следует, что для рассматриваемого циклона  $r_0(z) < 0,01$  рисунок 3, поэтому затухание вращения потока незначительно и им можно пренебречь.

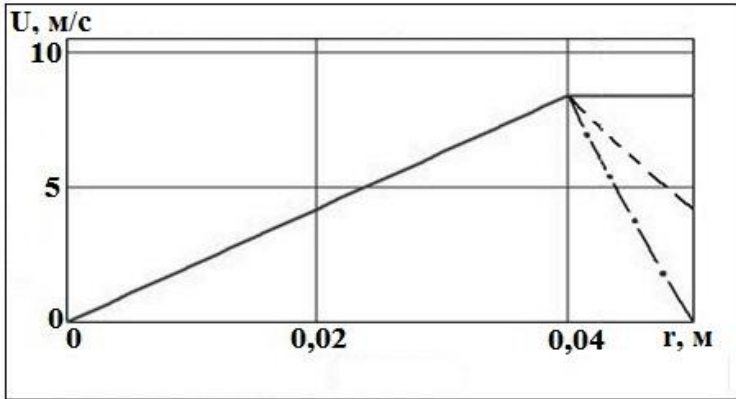


Рис. 3. Зависимости распределения тангенциальной скорости потока в рабочей камере циклона от “проницаемости” стенки камеры для дисперсных частиц, при: **—•—** - условия прилипания; **— — —** - реальной конструкции; **— — —** - идеальном скольжении.

В рассматриваемом циклоне стенки камеры имеют отверстия (жалюзи), через которые проходят дисперсные частицы в пылесодочную камеру, поэтому на стенке камеры следует вместо обычного условия прилипания задать условие скольжения. Это позволяет уточнить уравнение (4) для тангенциальной скорости воздушного потока:

$$U_{\varphi}(r) = \Omega_0 r \begin{cases} 1, & r \leq \frac{d_0}{2} \\ \frac{\left(\frac{D_0}{2r}\right)^2 \left(1 - \gamma \frac{d_0}{D_0}\right) - \left(1 - \gamma \frac{D_0}{d_0}\right)}{\left(\frac{D_0}{d_0}\right)^2 - 1}, & r \geq \frac{d_0}{2}, \end{cases} \quad (8)$$

где  $\gamma$  - параметр, характеризующий влияние конструкции стенки камеры на затухание скорости вне зоны “квазитвердого вращения” ( $\gamma = 0$  отвечает условию прилипания на стенке,  $\gamma = 1$  - отвечает “идеальному скольжению”).

#### **Выводы:**

Получено математическое выражение для определения динамики двухфазного запылённого потока в рабочей зоне разработанного циклона

#### **Список литературы**

1. 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.

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

3. Дейч М.Е., Филиппов Г.А. Газодинамика двухфазных сред. - М.: Энергия, 1968. - 424с.

4. Дейч М.Е. Техническая загодинамика. - М.: Энергия, 1974. - 592с.

5. Протодьяконов И.О., Чесноков Ю.Г. Гидромеханические основы процессов химической технологии. - Л.: Химия, 1987. - 360с.

6. Романков П.Г., Курочкина М.И. Гидромеханические процессы химической технологии. - Л.: Химия, 1982. - 288с.

7. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. - М.: Наука, 1978. – 336с.

8. Седов Л.И. Механика сплошных сред. - М.: Наука, 1976.-т.1. – 536 с.

9. Милн-Томсон Л. Теоретическая гидродинамика.- М.: Мир, 1964. – 660 с.

10. Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки.- М.: Мир, 1987.-588с.

11. Сугак Е.В. Процессы очистки газов в турбулентных газодисперсных потоках. Моделирование и интенсификация. - ИД «LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co», 2011. – 308с.

12. Сугак Е.В. Моделирование и интенсификация процессов очистки промышленных газовых выбросов в турбулентных

газодисперсных потоках: Дисс....докт.техн.наук: 11.00.11 / Сугак Евгений Владимирович – К., 1999. – 320с.

**Анотація**

**ДО ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОЛЯ ШВИДКОСТЕЙ НЕСУЧОЇ ФАЗИ В РОБОЧОЇ ЗОНІ ПРЯМОТОЧНОГО ЦИКЛОНА**

*Запропоновані заходи щодо побудови та подальшого рішення математичної моделі динаміки запиленого повітряного потоку в робочій зоні розробленого циклону.*

**Abstract**

**TO CONSTRUCT A MATHEMATICAL MODEL OF THE VELOCITY FIELD CARRIER PHASE IN THE WORKING AREA UNI FLOW CYCLONE**

*The ways to build and subsequent solution of the mathematical model of the dynamics of dusty air flow in the work area of the developed cyclone.*