

УДК 519.8:621.928.83

Старший преподаватель Д.В. Каргашилов,
профессор А.М. Гавриленков

(Воронеж. гос. ун-т инженерных технологий) кафедра инженерной экологии и техногенной безопасности, тел. (473) 249-60-24

старший преподаватель Е.В. Романюк, доцент А.В. Некрасов

(Воронежский институт ГПС МЧС России) кафедра пожарной безопасности технологических процессов, тел. (473) 236-33-05

Разработка циклона-пылеуловителя в мукомольном производстве

В статье предложена новая усовершенствованная конструкция циклона-пылеуловителя с конической вставкой. Приводятся результаты испытания в условиях мукомольного производства.

In article the new advanced design of a cyclone dust collector with a conic insert is offered. Results of its test in the conditions of flour-grinding production are given.

Ключевые слова: циклон, пыль, пылеулавливание, мукомольное производство, очистка.

Проблема минимизации пылегазовых выбросов остро стоит на предприятиях по переработке зерна, где интенсивный выброс пыли в воздух рабочей зоны происходит практически на всех стадиях производственного процесса. В результате ухудшается качество окружающей среды, и создаются условия для возникновения взрывопожароопасных ситуаций. Поэтому актуальность усовершенствования конструкции циклонов-пылеуловителей очевидна.

Из практики центробежного пылеулавливания известно, что дисперсная фаза в общем случае находится в циклоне в трех состояниях (или если проводить разграничение по месту расположения и характеру движения – в трех потоках).

При высокой концентрации пыли в разделяемом двухфазном потоке, она собирается на внутренней поверхности циклона в так называемый «жгут» – первое состояние, представляющее собой поток с высокой плотностью частиц, движущийся спиралевидно по внутренней стенке циклона.

Однако теоретические и опытные данные свидетельствуют о том, что часть осажденных частиц перемещается вне «жгута» по своим отличающимся траекториям – второе состояние. Их движение неустойчиво и характеризуется сочетанием скольжения, качения и верчения.

Они перемещаются с отрывом от поверхности (среди прочих причин в силу возникновения эффекта Магнуса), могут образовывать циклические круговые течения в непосредственной близости от верхней крышки циклона.

Третье состояние – мелкодисперсные частицы, движущиеся в закрученном воздушном потоке. Эта часть дисперсной фазы может не достичь внутренней поверхности циклона из-за низкой скорости осаждения и будет унесена обратным газовым потоком.

На основе разграничения материальных потоков в циклоне сформулирована основная цель исследования – разработка конструкции циклона-пылеуловителя, обеспечивающего стабилизацию движения частиц второго потока и улавливание высокодисперсных частиц третьего потока.

В результате анализа современного состояния техники обеспыливания и целенаправленных технических исследований разработан циклон со вставкой в виде усеченного конуса, на поверхности которой имеются щелевые улавливающие отверстия (рисунок 1) [1].

Предлагаемый циклон работает следующим образом. Разделяемый двухфазный поток вводится в цилиндрический корпус циклона через входной патрубок. Основная часть дисперсной фазы достаточно быстро оседает на корпус и формирует жгут, имеющий свое начало в месте ввода в аппарат пылегазового потока. Некоторая часть осевших частиц, не попавших в жгут, движется по поверхности цилиндрического корпуса.

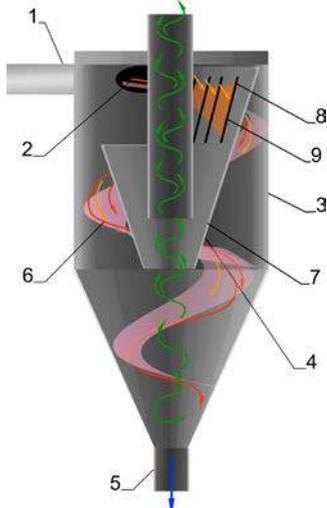


Рисунок 1 - Схема движения частиц в циклоне-пылеуловителе с конической вставкой:

1 – вход запыленного газа; 2 – вход патрубка в корпус циклона; 3 – корпус циклона; 4 – выхлопная труба; 5 – патрубок для удаления пыли; 6 – основное движение частиц – «жгут»; 7 – коническая вставка; 8 – щелевые отверстия; 9 – поток высокодисперсных частиц.

Нарушение жгута, имеющего свои собственные параметры движения, отличающиеся как от параметров воздушного потока, так и от параметров отдельных частиц, нежелательно и может повлечь за собой резкое снижение эффективности улавливания. Поэтому он беспрепятственно движется в пространстве между корпусом и вставкой. Осажденные частицы, движущиеся вне жгута, попадают на вставку. В силу низкой составляющей скорости движения в осевом направлении и отмеченной выше склонности данной части потока к образованию круговых течений, частицы могут уноситься воздушным потоком с поверхности вставки. Для предотвращения этого явления в верхней части вставки выполнены щелевые улавливающие отверстия, через которые осажденная пыль выводится в пространство между корпусом и вставкой. Достигаемый при этом эффект сопоставим с наблюдаемым в циклоне Ван-Тонгерена.

Коническая форма вставки создает благоприятные условия для улавливания мелких частиц, составляющих третий поток. Они осаждаются в средней части конической вставки, а в нижней части могут быть унесены обратным восходящим газовым потоком. Для предотвращения уноса нижняя часть вставки снабжена еще одним рядом улавливающих отверстий. Частицы, отведенные через отверстия в пространство между корпусом и вставкой, не выносятся в выхлопную трубу. Тем самым увеличивается эффективность очистки.

Движение осажденной частицы по поверхностям циклона описывается дифференциальными уравнениями, устанавливающими зависимость ее кинематических параметров от физико-механических свойств среды, конструктивных параметров циклона и режимных характеристик его работы. Для конической поверхности уравнения записаны в сферической системе координат (r, θ, φ) :

$$N = m \sin \theta \left(g + r \dot{\varphi}^2 \cos \theta \right) + \eta u_{\theta} - \frac{1}{4} \pi \rho_{\text{в}} v_o^2 d^2, \quad (1)$$

$$\ddot{r} = -g \cos \theta - f \frac{N}{m v} + \frac{\eta}{m} (u_r - \dot{r}) + r \dot{\varphi}^2 \sin^2 \theta, \quad (2)$$

$$\ddot{\varphi} = -f \frac{N}{m v} + \frac{\eta}{m} \left(\frac{u_{\varphi}}{r \sin \theta} - \dot{\varphi} \right) - \frac{2}{r} \dot{r} \dot{\varphi}, \quad (3)$$

где $v = \sqrt{\dot{r}^2 + (r \dot{\varphi} \sin \theta)^2}$ – абсолютная скорость частицы; $u_r, u_{\theta}, u_{\varphi}$ – проекции вектора скорости воздушного потока на оси;

$$v_o = \sqrt{(u_r - \dot{r})^2 + u_{\theta}^2 + (u_{\varphi} - r \dot{\varphi} \sin \theta)^2}$$

– скорость частицы по отношению к воздушному потоку; $\eta = 3\pi d \mu_a$; $\mu_{\text{в}}$ – динамическая вязкость воздуха; d – размер частицы пыли; m – масса частицы; g – ускорение силы тяжести; f – коэффициент трения скольжения частицы по поверхности циклона; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха.

Для изучения работы циклона-пылеуловителя предлагаемой конструкции изготовлен экспериментальный стенд, представленный на рисунке 2.

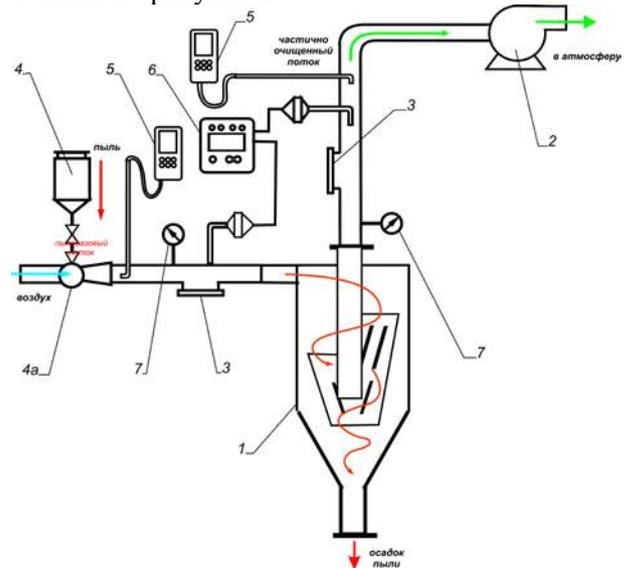


Рисунок 2 - Схема экспериментальной установки: 1- экспериментальный циклон [1]; 2- вентилятор; 3- место забора проб импактором; 4 и 4а- дозатор пыли; 5- термоанемометр; 6 – модуль для замера концентрации пыли; 7 – модуль для замера давления.

Экспериментальная установка включала разборную модель лабораторного циклона-пылеуловителя, которая позволяла испытывать ее как традиционный циклон, а также добавлять и менять вид конической вставки. Исследовался пылегазовый поток, содержащий пыль ржи дисперсностью от 5 мкм и ниже, взятую с отделения размола мукомольного комбината. Пыль дозировалась с помощью дозатора 4. Измеряемыми параметрами были: скорость пылегазового потока, давление до и после циклона, концентрация пыли и фракционный состав пыли. Эффективность пылеулавливания определяли методом внешней фильтрации, а дисперсный состав с помощью импактора НИИОГАЗ.

На первом этапе экспериментальных исследований получено подтверждение наличия характерных потоков дисперсной фазы. На рисунке 3 представлен общий вид треков, оставленных пылегазовым потоком внутри обычного циклона (предварительно его внутренняя поверхность была продублирована бумагой, позволяющей сохранить картину движения частиц).

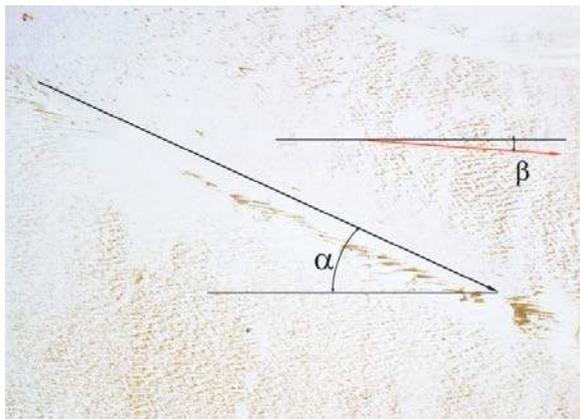


Рисунок 3 - Вид треков внутри циклона при следующих параметрах пылегазового потока: $v=18$ м/с, $c_n=65$ г/м³, $\bar{d}_m=5-10$ мкм

На развертке цилиндра четко прослеживается два вида движения осажденных частиц: под углом α движется «жгут», а под углом β – отдельные частицы пыли.

Далее исследовалось движение дисперсной смеси в циклоне со вставкой. В результате обработки пылегазового потока в течение 200 с со скоростью 10-20 м/с получен вид треков, представленный на рисунке 4.

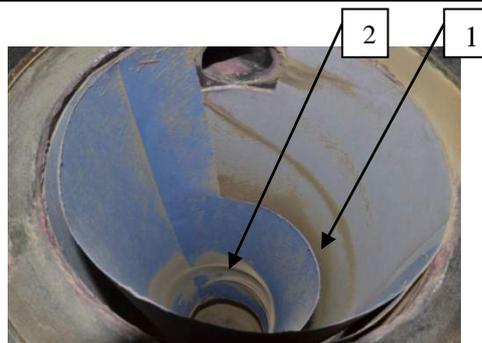


Рисунок 4 - Картина треков в экспериментальном циклоне-пылеуловителе с конической вставкой: 1 – жгут на внутренней поверхности корпуса; 2 – высокодисперсные частицы на внутренней поверхности конуса.

Из рисунка 4 видно, что на поверхности конуса улавливаются частицы третьего состояния движения.

Замеры и визуальные наблюдения работы циклона-пылеуловителя на разных скоростях позволили определить оптимальную скорость пылегазового потока и места расположения щелевых улавливающих отверстий. На представленных фотографиях (рисунок 5) отражен вид внутренней полости циклона при различной скорости дисперсного потока на входе в циклон.



а



б



В

Рисунок 5 - Вид внутренней полости циклона при различной скорости дисперсного потока на входе в циклон: а – 20 м/с; б – 16 м/с; в – 10 м/с.

При скорости 10 м/с пыль не удаляется в щелевые отверстия конической вставки, а это значит, что она будет захватываться обратно в поток и уносится в выхлопную трубу. Поэтому оптимальной скоростью работы является скорость от 16 м/с и выше.

Целесообразность разработки и применения такой конструкции подтверждают зависимости, представленные на рисунках 6-7.

На рисунке 6 приведены интегральные кривые, полученные в результате измерений дисперсного состава импактором НИИОГАЗ. На рисунке 7 – зависимости эффективности и общего перепада давлений в зависимости от

скорости пылегазового потока на входе в циклон. Полученные результаты подтверждают эффективность использования циклона с конической вставкой и щелевыми отверстиями.

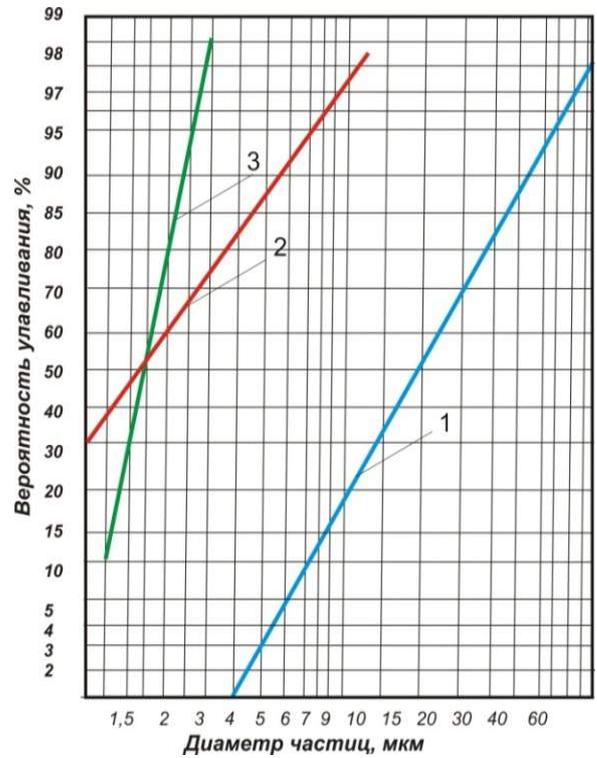


Рисунок 6 - Анализ дисперсного состава пыли ржи при $c_n=107 \text{ мг/м}^3$: 1 – до циклона; 2 – после циклона; 3 – после циклона с конической вставкой.

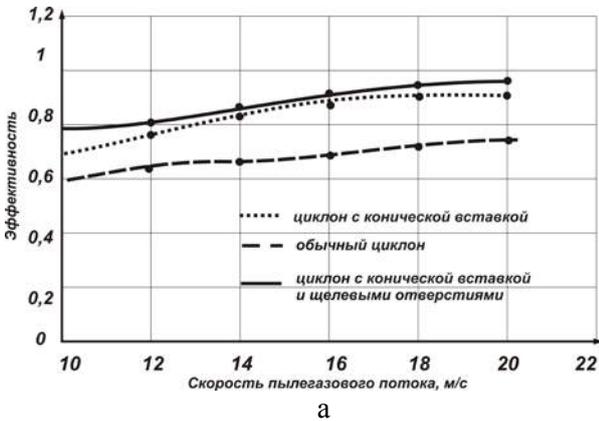
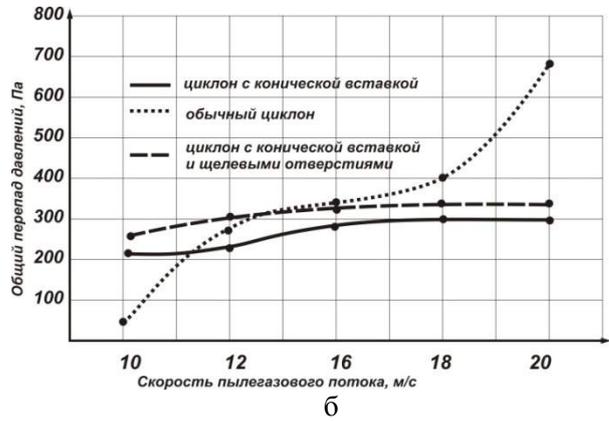


Рисунок 7 - Экспериментальные зависимости для пыли ржи при $c_n=114 \text{ мг/м}^3$, $\bar{d}_m=25 \text{ мкм}$, $\sigma=0,5$:

а – $\mathcal{E} = f(w)$, б – $\Delta P = f(w)$

Анализ работы предлагаемого циклона-пылеуловителя показал, что наиболее эффективно он работает на скоростях в диапазоне 16-20 м/с (скорости движения пылегазового потока в системах аспирации горизонтальных участков мукомольных цехов). При этом общая эффективность работы достигает значения 95 % при дисперсности улавливаемых



частиц начиная с 6 мкм и ниже. Полученные экспериментальные данные подтверждают целесообразность разработки и использования предложенной конструкции циклона-пылеуловителя с конической вставкой, а также доказывают правильность теоретических предположений о движении частиц различных потоков в полости циклона.

ЛИТЕРАТУРА

1 Заявка 2011134567 Российская Федерация, МПК В04С 5/107 (2006.01). Устройство для пылеулавливания [Текст] / А.М. Гавриленков, Д.В. Каргашилов, А.В. Некрасов; заявитель ГОУ ВПО ВГТА (РФ). – Заявл. 17.04.2011; Опубл. 27.02.2013; Бюл. № 6.

2 Машины и аппараты химических и нефтехимических производств Т. 4–12 [Текст] / М.Б. Генералов, В.П. Александров, В.В. Алексеев и др. – М., 2004. – 832 с.

REFERENCES

1 The patent demand 2011134567 of Russian Federation, МПК В04С 5/107 (2006.01). The device for dust-catching [Text] / A.M. Gavrilentkov, D.V. Kargashilov, A.V. Nekrasov; applicant VSTA (RF). - / Appl. 17.04.2011; Publ. 27.02.2013, Bul. № 6.

2 The Machines and apparatuses of chemical and petrochemical industries. V. 4-12 [Text] / M.B. Generalov, V.P. Alexandrov, V.V. Alexeev et al. – M., 2004. – 832 p.