

*В. С. Ветров¹, А. И. Николаенков², Б. А. Мелещенко², В. Ф. Вербицкий²
РУП «Институт мясо-молочной промышленности»¹
УО «Белорусский государственный аграрно-технический университет»²*

РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ

В технологических процессах воздухообмена, наряду с очисткой воздуха от токсичных соединений органического происхождения и микробиологической заземленности, которая достигается использованием рециркуляционно-очистного оборудования (сорбционные фильтры, ультрафиолетовые установки и др.), проблеме снижения содержания в воздухе технологических участков пыли принадлежит ведущая роль.

По данным Института экспериментальной ветеринарии им. С.Н.Вышелесского, в 1 мг пыли содержится до 2,5 млрд. бактерий, обладающих очень сильными аллергенными свойствами [1].

Анализ существующих способов очистки воздуха от пыли показывает, что все устройства в основном предназначены для улавливания минеральных веществ. Методы их расчета достаточно сложны, поэтому на предприятиях АПК используются крайне редко.

Цель наших исследований – разработка основ расчета конструктивных и технологических показателей устройства для очистки воздуха от пыли.

В качестве исходного образца принята конструкция циклона, как наиболее простого в устройстве и эксплуатации.

Физическая картина пылеотделения в циклонах состоит в следующем. Запыленный воздух подводится к циклону воздуховодом, направленным по касательной к цилиндрической части циклона, вследствие чего воздух внутри циклона совершает вращательное движение. При этом развивается центробежная сила, под воздействием которой пыль, обла-

дающая большей массой, чем запыленный воздух, отбрасывается от центра к периферии, осаждаясь на стенках аппарата. Затем она удаляется периодически через коническую часть. Воздух, освобожденный (в какой-то мере) от пыли удаляется из циклона по выхлопной трубе. На рисунке представлена принципиальная схема циклона:

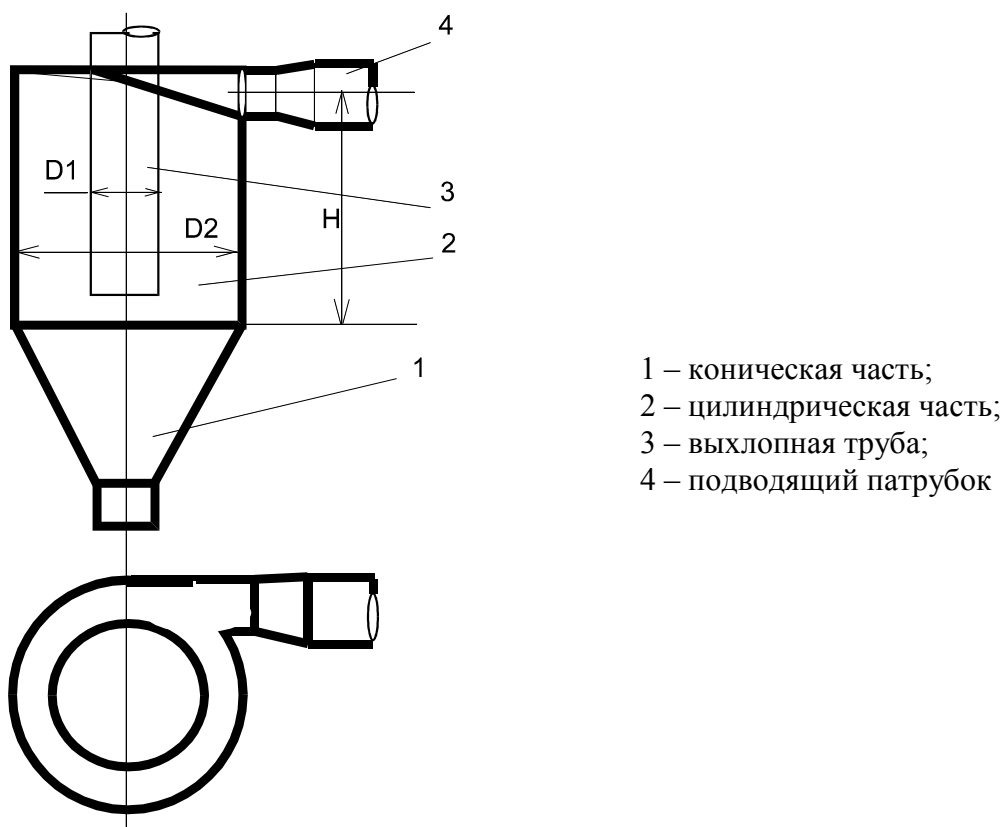


Рисунок 1 – Принципиальная схема циклона

Для большей наглядности расчет будем производить в численном значении переменных.

Дано: количество воздуха, требующее очистки $L = 3\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,83 \text{ м}^3/\text{с}$); значение скоростей (рекомендуемое) [2]: окружная (ω) – 12 м/с в выхлопной трубе, (ω_r) – 4 м/с в подводящем лотке ($\omega_{\text{до}}$) – 18 м/с.

Задаем внешний радиус цилиндрической части циклона (R_2) – 0,5 м.

Определяем время пребывания пылинки в циклоне:

$$\tau = (2\pi R_2)\varphi / \omega, \quad (1)$$

$$\left(\varphi = \frac{10}{2\pi} = \frac{10}{2 \cdot 3,14} = 1,59\right)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,59 \cdot 0,5}{12} = 0,416 \text{ с}$$

- радиус выхлопной трубы:

$$R_1 = \sqrt{\frac{L}{\pi\omega_t}}, \quad (2)$$

$$R_1 = \sqrt{\frac{0,83}{3,14 \cdot 4}} = 0,26 \text{ м}$$

-высоту цилиндрической части:

$$H = \frac{L}{(R_2 - R_1) \cdot \omega}, \text{ м} \quad (3)$$

$$H = \frac{0,83}{(0,5 - 0,26) \cdot 12} = 0,29 \text{ м};$$

-скорость осаждения пылинки:

$$\tau = \frac{(R_2 - R_1)}{\omega_0}, \quad (4)$$

откуда

$$\omega_0 = \frac{R_2 - R_1}{\tau}, \quad (5)$$

$$\omega_0 = \frac{0,5 - 0,26}{0,416} = 0,578 \text{ м/с};$$

- проверим значение R_2 по выражению:

$$R_2 = \frac{R_1}{1 - \frac{2\phi\omega_0}{\omega\pi}}$$

$$R_2 = \frac{0,26}{1 - \frac{2 \cdot 1,59 \cdot 0,578}{12}} = 0,5 \text{ м};$$

- длину пути невыгодно расположенной пылинки[3]:

$$l = \omega t, \quad (7)$$

$$l = 12 \cdot 0,416 = 4,99 \text{ м.}$$

- средняя длина пути каждого витка приблизительно может быть принята равной длине средней окружности

$$l_0 = 2\pi R_0 \quad (8)$$

$$(R_0 = \frac{0,5 + 0,26}{2} = 0,38)$$

$$l_0 = 3,14 \cdot 2 \cdot 0,38 = 2,38 \text{ м}$$

- необходимое число витков:

$$\eta = \frac{l}{l_0}, \quad (9)$$

$$\eta = \frac{4,99}{2,38} = 2,1;$$

- угловая скорость вращения частицы в средней части циклона вокруг оси будет равна

$$\Omega = \frac{\omega}{R_0}, \quad (10)$$

$$\Omega = \frac{12}{0,38} = 31,6 \text{ 1/с.}$$

При заданном значении плотности воздуха $\rho_1 = 1,226 \text{ кг/м}^3$; плотность пыли $\rho_2 = 900 \text{ кг/м}^3$, кинематической вязкости $\mu = 14,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ определим минимальный диаметр осаждаемых пылинок на расстоянии $R_1 = 0,260 \text{ м}$ от оси циклона [3]:

$$d = 3 \cdot \sqrt{\frac{\mu}{\pi n \Omega} \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}}, \quad (11)$$

$$\begin{aligned} d &= 3 \cdot \sqrt{\frac{14,4}{10^6 \cdot 3,14 \cdot 2,1 \cdot 31,6} \cdot \frac{1,226}{900} \cdot \ln \frac{0,5}{0,26}} = \\ &= 3 \cdot 7,84 \cdot 10^{-6} = 2,35 \cdot 10^{-5} \text{ м.} \end{aligned}$$

Представим численное значение зависимости (11) в виде

$$d = 2,95 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{\ln \frac{0,5}{0,26}}$$

и определим минимальный диаметр пылинок на расстоянии $0,5 \div 0,26$, получим ряд (с интервалом $0,04 \text{ м}$)

$$R_1 = 0,5 \cdot d = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ м},$$

$$R_1 = 0,34 \cdot d = 1,83 \cdot 10^{-5} \text{ м},$$

$$R_1 = 0,38 \cdot d = 1,54 \cdot 10^{-5} \text{ м},$$

$$R_1 = 0,46 \cdot d = 0,85 \cdot 10^{-5} \text{ м},$$

$$R_1 = 0,48 \cdot d = 0,59 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Считаем, что зависимость показателя очистки $\eta = f(d)$ – линейная и, принимая во внимание, что при $R_0 = R_{\text{оп}}$ $\eta = 0,5$ (50%), при $R_1 = 0,59 \cdot 10^{-5}$ $\eta = 1,0$ (100%), получим уравнение:

$$\eta = d \cdot (-0,52) + 1,3$$

и соответствующий численный ряд:

$$d_1 = 2,1, \quad \eta = 0,208,$$

$$d = 1,83, \quad \eta = 0,348,$$

$$d = 1,54, \quad \eta = 0,500,$$

$$d = 1,23, \quad \eta = 0,66,$$

$$d = 0,85, \quad \eta = 0,86,$$

$$d = 0,59, \quad \eta = 0,99,$$

$$\sum \eta = 3,566$$

$$\eta_{\text{ср}} = 0,594 \quad (59,4\%).$$

Сравним с табличным значением [4] при $d = 20$ и $\eta = 50\%$, получим $\eta_{\text{нб}} = 62,8\%$. Относительная погрешность:

$$\Delta = \frac{6,38}{59,4} = 5,7\%, \text{ что является вполне допустимым в соответствии с}$$

рекомендациями [3]. Диаметр отверстия для удаления осажженной пыли принимается ($d_{\text{юа}} = 0,25 \text{ м}$) с углом между образующими $30\text{--}40^\circ$; выбираем среднее значение $\alpha = 35^\circ$, высоту конической части получим из условия

$$H_k = (R_1 - R_{k.2}) \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (12)$$

$$H_k = (0,5 - 0,125) \cdot 3,17 = 1,2 \text{ м}.$$

Найдем число Рейнольдса при движении частиц пыли от внутренней стенки циклона к наружной для наиболее крупных частиц.

Максимальная длина пути частицы $l_2 = R_2 - R_1 = 500 - 260 = 240 \text{ мм} = 0,24 \text{ м}$, этот путь частицы проходят за $0,416 \text{ с}$, следовательно, максимальная скорость частиц к наружной стенке циклона

$$v = \frac{0,24}{0,416} = 0,577 \text{ м/с};$$

$$R_l = \frac{0,5776,54 \cdot 10^{-5}}{14,4 \cdot 10^{-6}} = 0,47 \text{ м}^2/\text{с}$$

Давление на входе в циклон определяем по формуле

$$P_{\text{ао}} = \frac{(\omega_{\text{ао}})^2}{2} \cdot 1,24, \quad (13)$$

$$P_{\text{ао}} = \frac{(18)^2}{2} \cdot 1,24 = 200 \text{ Па}$$

Давление в выхлопной трубе

$$D_{\text{ао}} = \frac{(\omega_t)^2}{2} \cdot 1,24, \quad (14)$$

$$D_{\text{ао}} = \frac{(4)^2}{2} \cdot 1,24 = 10 \text{ Па}$$

Мощность, затрачиваемая на подачу воздуха в циклон:

$$N_1 = \frac{P_{\text{ао}} Q}{3600 \cdot \eta_l \cdot \rho_n}, \quad (15)$$

$$N_1 = \frac{200 \cdot 8000}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,59 \cdot 0,95} = 0,297 \text{ кВт.}$$

Мощность на вывод воздуха из выхлопной трубы:

$$N_2 = \frac{P_{\text{вд}} Q}{3600 \cdot 1000 \eta_n \eta_n}, \quad (16)$$

$$N_2 = \frac{10 \cdot 3000}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,59 \cdot 0,95} = 1,48 \cdot 10^{-2} \text{ кВт,}$$

Показатели использования мощности:

$$\varepsilon_N = \frac{N_2}{N_1}; \quad (17)$$

$$\varepsilon_N = \frac{1,48 \cdot 10^{-2}}{0,297} = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 100 = 5\%,$$

что является достаточно значительным значением для рассматриваемого типа устройств.

Предложенный расчет оборудования для очистки от пыли воздуха технологических участков предприятий АПК может быть использован для разработки, конструирования и изготовления оборудования применительно к условиям конкретных хозяйств.

Литература:

1. Эрм, Г. И. Проблемы гигиенической опасности и вредности пылевого фактора в промышленном птицеводстве. / Г. И. Эрм // Методология гигиенического регламентирования: сб. науч. тр. – Минск.: Беларус. навука, 1999.–С. 119–124.
2. Дроздов, В. Ф. Отопление и вентиляция. / В. Ф. Дроздов // Ч. 2. Вентиляция.–М.: Высшая школа, 1984.–263 с.
3. Калинин, П.Н. Отопление и вентиляция. / П. Н. Калинин // Ч. 2. Вентиляция.–М.: Стройиздат, 1966.–476 с.
4. Белевицкий, А. М. Проектирование газоочистных сооружений. / А. М. Белевицкий–Л.: Химия, 1990.–288 с.