

УДК 628.511

ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦ АЭРОДИСПЕРСТНЫХ СИСТЕМ

*Киреева Н.С., кандидат технических наук, доцент,
8(8422) 55-95-90, Kireeva.23@mail.ru*

*Татаров Л.Г., кандидат технических наук, доцент,
8(8422) 55-95-90, l.g.tatarov@mail.ru*

*Киреев А.В., студент 3 курса, 8(8422) 55-95-90,
www.lehandres@mail.ru*

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Ключевые слова: *частица, пыль, закон, воздух, формула.*

В работе приведены дифференциальные уравнения движения частиц, а также законы, определяющие сопротивление движению частиц в покоящемся воздухе, применение которых облегчает их интегрирование и не может привести к серьезным ошибкам при расчетах.

Рост объема производства и его интенсификация, обусловлены научно-технической революцией (НТР) и резким увеличением численности населения земного шара. Несмотря на усовершенствование технологии и техники очистки воздушных выбросов, повлекли за собой увеличение общей массы вредных веществ, вносимых в атмосферу. Возросла энерговооруженность производства и соответственно количество сжигаемого топлива и образующихся дымовых газов. Считается, что выработка электроэнергии, и соответственно объем промышленного производства, удваиваются каждые 7-10 лет.

Важнейшей задачей вентиляционной техники является очистка воздуха, удаляемого из производственных помещений с помощью вытяжных вентиляционных систем. Весьма актуальными стали также мероприятия по устранению последствий запыленности воздуха в производственных помещениях. Техника обеспыливания характеризуется большим разнообразием конструкций и форм исполнения обеспыливающего оборудования. Правильное применение средств техники обеспыливания воздуха приобретает особое значение в современных условиях растущего загрязнения атмосферы [1].

Одним из важнейших результатов взаимодействия пылевых частиц, с увлекающими их воздушными потоками при наличии внешних сил, являются силы инерции, имеющие большое значение в теории и практике обеспыливания.

Частицы аэродисперсных систем постоянно движутся относительно среды и друг друга. В зависимости от размеров частиц, составляющих одну и ту же полидисперсную пыль, меняются законы, определяющие сопротивление движению частиц в покоящемся воздухе или, также, сопротивление неподвижных частиц прямолинейному потоку воздуха [1].

Например, движение очень мелких частиц размером до нескольких десятков миллиметров (субмикронных), невидимых в обычном оптическом микроскопе, не нарушает распределение скоростей молекул воздуха и не создает в нем никаких течений. В этом случае сопротивление движению обуславливается только тем, что движущаяся частица подвергается спереди большему числу ударов молекул, чем сзади. Соответственно этому сопротивление пропорционально скорости частиц и площади поперечного сечения, т. е. квадрату диаметра частиц [2].

$$F = \frac{3\pi\mu_B d^2 v_c}{K_{от} l}, \quad (1)$$

где μ_B - вязкость воздуха (Па·с); v_c - скорость движения частицы относительно среды (м/с); $K_{от}$ - параметр, зависящий от механизма отражения молекул; l - средняя длина свободного пути молекул (мм).

Движение частицы размером 1 мкм и более создает в воздухе течения, обуславливающие аэродинамическое сопротивление ему. В аэродинамике при равномерном движении это сопротивление выражают формулой

$$F = \Psi \frac{\pi d^2}{4} \rho_B \frac{v^2 c}{2}, \quad (2)$$

где Ψ - коэффициент аэродинамического сопротивления, зависящий от числа Рейнольдса Re ; ρ - плотность воздуха ($г/см^3$).

Частицы этого размера различают с помощью оптического микроскопа, а более крупные - невооруженным глазом. Для малых и постоянных скоростей движения и небольших размеров частиц, когда $0 < Re < 1$, коэффициент аэродинамического сопротивления Ψ принимает равным $24/Re$ и сопротивление определяют по формуле Стокса [2]:

$$F = 3\pi\mu_B d v_c. \quad (3)$$

Сила F в данном случае складывается из двух компонентов. Один из них представляет собой равнодействующую нормальных сил, т. е. сил давления воздуха на сферу, и равен $\pi\mu_B d v_c$, другой - соответственно

равнодействующую касательных напряжений, т. е. силу трения воздуха о поверхность сферы, и равен $2\pi\mu_b dv_c$.

Применение формулы Стокса облегчает интегрирование дифференциальных уравнений движения частиц и не может привести к серьезным ошибкам также и в более широком диапазоне значений числа Re, поскольку обычно исследуются явления, связанные с движением наименьших из частиц системы, которые еще более или менее эффективно сепарируются из потока. Это обуславливает широкое применение формулы Стокса при исследовании вопросов, связанных с движением пылевых частиц в воздухе.

Формула Стокса получена в предположении, что силы инерции воздуха, вытесненного частицей, пренебрежимо малы. В литературе встречается также формула Озеена, полученная с частичным учетом инерционных членов уравнения Навье - Стокса. Согласно Озеену:

$$\Psi = \frac{24}{\text{Re}} \left(1 + \frac{3}{16} \text{Re} \right). \quad (4)$$

Считают, что формула (4) может применяться до значений $\text{Re}=5$.

В тех случаях, когда исследуется движение, характеризующееся заведомо большими значениями числа Re и широким интервалом его изменения, применяют формулу Клячко:

$$\Psi = \frac{24}{\text{Re}} + \frac{4}{\sqrt[3]{\text{Re}}}. \quad (5)$$

В интервале $3 < \text{Re} < 400$ эта формула дает погрешность не более 2%, при $\text{Re} = 1000$ погрешность составляет около - 4%, а при $\text{Re} = 0,1$ - около +4%.

При больших значениях числа Re большая часть сопротивления создается давлением воздуха на поверхность частиц и только небольшая часть поверхностным трением. Сопротивление изменяется пропорционально v_c^n , где n непрерывно возрастает с увеличением Re, приближаясь к двум (формула (2)). Для очень больших значений числа Re сопротивление определяется формулой Ньютона [3]:

$$F = 0,055\pi\mu_b d^2 v_c^2. \quad (6)$$

что соответствует значению $\Psi = 0,44$.

При инженерных расчетах по приведенным формулам принимают, что частицы представляют собой идеальные сферы, учитывая в отдельных случаях влияние действительной формы частиц и строение их

поверхности. Обычно для этого вводят в формулу Стокса диаметр эквивалентной частицы - частицы, которая оседает с той же скоростью, что и рассматриваемая, или динамический коэффициент формы, равный отношению сопротивления среды движению частицы неправильной формы и сферической частицы того же объема [2].

Характерной особенностью несферических частиц является их стремление принять при движении такое положение, при котором сопротивление среды было бы максимальным. Частицы пластинчатой, многогранной и игольчатой форм располагаются так, что их более развитые грани и более длинные ребра оказываются перпендикулярными направлению движения. Такая ориентация усиливается, по мере увеличения значения числа Re . Одновременно увеличивается угол, между направлением движения и направлением силы сопротивления, траектория оседающих частиц отклоняется от вертикали, причем тем больше, чем крупнее частицы. При достаточно больших значениях числа Re движение становится спиральным или зигзагообразным, некоторые частицы скользят вбок, парят. При медленном оседании мелких частиц ($r < 10$ мкм) это явление не отмечается [2].

В инженерных расчетах обычно не учитывают влияние стенок, ограничивающих объем, в котором движется частица, и турбулентности на сопротивление движению. Точных данных по этому вопросу не имеется - можно полагать, что при небольших значениях числа Re турбулентность не оказывает существенного влияния.

Библиографический список:

1. Селянский В. М. Микроклимат в птичниках. - М. : Колос, 1975. - 304 с.
2. Грибов Л. А., Прокофьева Н. И. Основы физики. - М. : ВШ, 1995.
3. Грабовский Р. И. Курс физики. - СПб. : Лан, 2005. - 608 с.

THE MOTION OF THE PARTICLES IN DISPERSE SYSTEMS

Tatarov L. G., Kireeva N. S., Kireev A.V.

Key words: *particle, dust, law, air, formula.*

The paper presents the differential equations of particle motion, as well as the laws determining the resistance of particles to motion in the resting air, the application of which facilitates their integration and can not lead to serious errors in the calculations.