

Например, определенную часть составляют волокна и частицы стружки, обладающие значительной парусностью, частицы фракции 3 при одинаковом диаметре и разной толщине имеют пластинчатую форму. Максимальные и минимальные скорости витания (см. рис. 1) возрастают от фракции 1 к фракции 2 незначительно; от фракции 2 к фракции 3 и от фракции 3 к фракции 4 — достаточно значительно. Это обстоятельство указывает на то, что фракции 1 и 2 будут легко отделяться от фракций 3 и 4, фракции 3 и 4 слабо разделяются в воздушном потоке.

УДК 621.547

А.И. МОЖАР (БПИ)

ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЯ ОДИНОЧНОГО ДИСПЕРСОИДА В ТРУБОПРОВОДАХ СИСТЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА

Работа пневмотранспорта основана на взаимодействии воздушного потока и дисперсоида. Это сопровождается рядом сложных явлений, изучение которых продолжается до настоящего времени.

Наиболее сложно теоретическое обоснование характера движения твердых частиц в горизонтальном потоке с целью определения потерь давления. Существует несколько моделей характера движения дисперсоида. Первоначально группой зарубежных авторов (И. Гастерштадт, Е. Трефц, Г. Зеглер) на основании обширных экспериментальных исследований была предложена теория прямолинейного движения твердых частиц в горизонтальном потоке под действием только аэродинамической силы несущей среды без учета силы тяжести. Необходимо отметить, что удачное инженерное решение принципов рас-

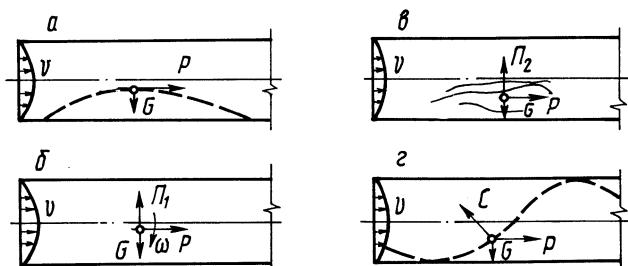


Рис. 1. Характер движения твердой частицы в горизонтальном потоке.

чета систем пневмотранспорта, несмотря на ряд допущений, используется и в настоящее время как "фундамент" для дальнейших теоретических исследований. Учет совместного действия аэродинамической силы потока и силы тяжести привел к созданию теории скачкообразного движения твердых частиц, впервые предложенной К. Вагнером (рис. 1, а).

Аналогичный вывод подтвержден рядом экспериментов.

Б.Ф. Турицын [1] делает попытку теоретически обосновать причины подъема единичного дисперсоида со дна трубопровода на основании теоремы Н.Е. Жуковского. При этом он предполагает, что основной причиной взвешивания частиц является их вращение вокруг своей оси, возникающее при обтекании частиц воздушным потоком с неравномерным профилем скоростей (рис. 1, б). Обязательное условие возникновения подъемной силы – наличие циркуляции, значение которой отлично от 0.

В работе [2] аналитически получена зависимость для определения подъемной силы, обусловленной разностью давлений потоков, обтекающих профиль частицы сверху и снизу (рис. 1, в). (Вращение частицы при этом не учитывалось). Авторы работы [3] утверждают, что возникновение подъемной силы обусловлено только наличием вертикальных составляющих пульсационных скоростей потока, которые существуют не только в пристенном слое, но и во всей массе потока. В более поздних работах обнаружено влияние турбулентных пульсаций лишь на частицы до 0,2 мм, характер движения которых значительно отличается от характера движения крупных частиц. По данным [4], влияние турбулентных пульсаций на процесс взвешивания частиц наблюдается при $\bar{v}' \geq 3 W_s$.

Автор исследования [5] выдвинул теорию винтообразного движения твердых частиц в потоке. Сила тяжести в этом случае (рис. 1, г) уравновешивается центробежной силой, возникающей при винтообразном движении самих частиц явно выраженном на участках разгона.

Наиболее полное представление о взаимодействии несущей среды и дисперсоида, а также математическое описание механизма переноса твердых частиц приведено в работе Ф.Г. Зуева [6]. Уравнение движения одиночной частицы (1) учитывает действие на нее поперечных сил: Π_1 , возникающей при наличии $\text{grad } V$ потока (несимметричное обтекание частицы, учитываемое в работе [2]); Π_2 – при вращении частицы (действие эффекта Магнуса [1]):

$$m \frac{dV}{dt} = P_x + \Pi_1 + \Pi_2 + mg + P_1, \quad (1)$$

где P_x – сила аэродинамического сопротивления; P_1 – сила сопротивления потока, возникающая при перемещении частицы в перпендикулярном к нему направлении. Взаимодействие частиц с границами потока описывается уравнениями (2):

$$I \frac{d\omega}{dt} = M; \quad \frac{dr}{dt} = V_m; \quad \frac{d\alpha}{dt} = \omega. \quad (2)$$

Здесь I – момент инерции частицы; ω – угловая скорость; M – главный момент.

Анализируя рассмотренные схемы механизма движения одиночного дисперсоида, можно предположить, что скачкообразное перемещение твердых частиц в дисперсных потоках является наиболее характерной формой их движения. При этом механизм подъема и движения дисперсоида в горизонтальном трубопроводе можно представить следующим образом. В начальный мо-

мент под действием аэродинамической силы потока частица начинает перемещаться по дну трубопровода. Так как коэффициент трения качения меньше, чем скольжения, частица начинает катиться. При достижении определенной угловой скорости, обеспечивающей возникновение подъемной силы (эффект Магнуса), равной силе тяжести, частица поднимается со дна трубопровода. При отделении частицы от стенки скорость вращения ее уменьшается, вследствие чего снижается подъемная сила. Частица под действием силы тяжести по параболической траектории падает на дно трубопровода, и цикл повторяется снова. Траектория частицы составляет с горизонтальной плоскостью угол от 6 до 12 град, пропорционально размеру частиц.

Характер движения частицы в зависимости от ее физико-механических свойств (форма, удельный вес, фрикционные и адгезионные свойства, упругость, состояние поверхности), скорости несущего потока, материала трубопровода определяется в основном действием одного из следующих факторов: несимметричного обтекания и вращения; турбулентных пульсаций, срыва вихрей с нижней стенки трубопровода и поверхности частицы.

Теория движения дисперсных потоков в горизонтальных трубопроводах основана на дифференциальных уравнениях движения одиночной твердой частицы. Интегрирование этих уравнений позволяет вычислить ее скорость в зависимости от времени. Однако следует отметить, что характер движения множества частиц в дисперсном потоке обуславливает наличие многочисленных факторов, трудно поддающихся совокупному аналитическому расчету. Поэтому настоящее состояние теории движения дисперсных потоков позволяет выполнить аналогичное решение при значительных допущениях, которые и положены в основу гетерогенной модели потока.

Уместно также отметить, что теория движения одиночного дисперсоида имеет не только теоретическое, но и практическое значение, так как дает возможность определять скорости трогания и транспортирования материала, выявлять форму поперечного сечения трубопровода.

Таким образом, на основании анализа отечественных и зарубежных исследований выявлено, что до настоящего времени нет единой обоснованной модели механизма движения одиночного дисперсоида.

Изучая механизм переноса твердых тел в воздушных потоках, необходимо выделять и рассматривать в отдельности два фактора: взвешивание (явно выражено и имеет определяющее значение на участке разгона) и характер движения. Последний является определяющим фактором на участках стабилизированного движения, имеет существенное значение для выбора параметров транспортирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Турцины Б.Ф. К теории процесса перемещения материалов пневматическим способом. – Отопление и вентиляция, 1935, № 1, с. 5–8.
2. Корн А.М. О силах, действующих на зерно при горизонтальном пневмотранспортировании. – Труды ВНИИМСХ, г. 46, 1970, с. 233–278.
3. Броунштейн Б.И., Тодес О.М. Основы теории пневматического транспорта. – ЖТФ, т. XXIII, вып. 1, 1953, с. 110–126.
4. Боровков В.С., Майроновский Ф.Г. Аэродинамика систем вентиляции и кондиционирования воздуха. – М., 1978. – 120 с.
5. Калинин М.П. О винтовом движении в трубопроводах. – Изв. АН СССР, 1952, № 3, с. 359–366.
6. Зув Ф.Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях. – М., 1976. – 344 с.