

К вопросу выбора критической скорости воздуха при вертикальном пневмотранспорте

Петренко С. М.

Белорусский национальный технический университет

Критическая скорость $\mathcal{G}_{кр}$ воздуха, при которой обеспечивается направленное перемещение транспортируемого материала с минимальными потерями давления dP/dL на единицу длины трубопровода, определяется из опыта как приведенная (отнесенная к площади поперечного сечения трубопровода) скорость \mathcal{G} для конкретных режимных параметров вертикального пневмотранспорта.

Из анализа условий силового взаимодействия в движущемся объеме аэрозмеси следует, что для реализации вертикального пневмотранспорта материала в направлении против силы тяжести сила $F_{вз}$ аэродинамического взаимодействия между воздушной и твердой фазами, отнесенная к единице массы, должна превышать вес столба материала в пневмотранспортном трубопроводе, т.е. $F_{вз} > g$, или $(v - v_m)^2 / v_s^2 > 1$, где v , v_m и v_s - действительные (с учетом стеснения поперечного сечения трубопровода транспортируемым материалом) скорости воздуха, материала и витания частиц. При переходе к расходным параметрам это условие обеспечения вертикального пневмотранспорта сыпучего материала с массовой производительностью Q_m для некоторой выбранной приведенной скорости \mathcal{G} воздуха имеет вид:

$$\left(\frac{\mathcal{G}}{1-c} - \frac{4Q_m}{c\rho_m\pi D^2} \right)^2 > \mathcal{G}_{sm}^2 (1-c)^6 \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right)^2, \quad (1)$$

где \mathcal{G}_{sm} - приведенная скорость витания частиц материала, c - объемная концентрация материала в пневмотранспортном трубопроводе, d и ρ_m - эквивалентный диаметр и плотность час-

тиц материала, D – диаметр пневмотранспортного трубопровода.

При известных размерно-плотностных и аэродинамических характеристиках (d , ρ_m , \mathcal{G}_{sn}) материала и диаметре трубопровода D из (1) можно определить для заданного массового расхода Q_m и принятой приведенной скорости \mathcal{G} воздуха объемную концентрацию $c_o = c_{\min}$, минимально необходимую для того, чтобы за счет стеснения поперечного сечения трубопровода частицами транспортируемого материала действительная скорость воздуха $v = \mathcal{G}/(1 - c_o)$ превысила потребную для обеспечения Q_m действительную скорость материала $v_m = 4Q_m / (c_o \rho_m \pi D^2)$ и квадрат их разности стал больше квадрата действительной скорости витания $v_s = \mathcal{G}_{sn} (1 - c_o)^3 (1 - (d/D)^2)$. Минимальное потребное значение приведенной скорости воздуха ограничено значением $c_o \approx 0,6$, соответствующим состоянию плотной упаковки частиц материала в трубопроводе.

С увеличением приведенной скорости \mathcal{G} воздуха значения c_o и действительной скорости воздуха v , а также коэффициента λ_m сопротивления транспортируемого материала уменьшаются, а значения действительной скорости материала v_m и действительной скорости v_s витания частиц увеличиваются. Соответственно с ростом \mathcal{G} возрастает составляющая потерь давления на перемещение воздуха

$$(dP/dL)_g = (1 - c_o)g\rho_g + (1 - c_o)\lambda_g \rho_g v^2 / 2D,$$

где ρ_g и λ_g – плотность и коэффициент сопротивления воздушной фазы, и уменьшается составляющая потерь давления на перемещение материала

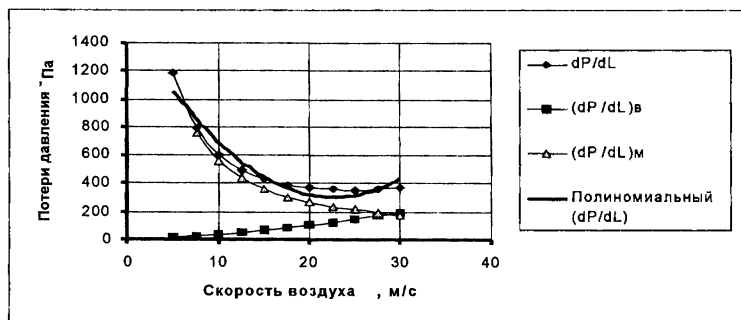
$$(dP/dL)_m = c_o g\rho_m + c_o \lambda_m \rho_m v_m^2 / 2D.$$

В результате с возрастанием \mathcal{G} происходит перераспределение вклада в суммарные потери давления составляющих потерь давления $(dP/dL)_в$ и $(dP/dL)_м$, и зависимость суммарных потерь давления $dP/dL=(dP/dL)_в+(dP/dL)_м =f(\mathcal{G})$ имеет минимум, соответствующий расчетному значению критической скорости $\mathcal{G}_{кр}$.

Результаты определения $\mathcal{G}_{кр}$ для образца дробленого торфа с $d = 5,5$ мм, $\rho_m = 935$ кг/м³, $\mathcal{G}_{sn} = 10,8$ м/с при диаметре трубопровода $D = 0,053$ м и $Q_m = 0,55$ кг/с на основании полученной расчетом полиномиальной зависимости

$$dP/dL = 2,4489 \mathcal{G}^2 + 110,63 \mathcal{G} + 1551,4$$

представлены на рисунке.



Наиболее существенное влияние на определяемое по предложенной методике значение $\mathcal{G}_{кр}$ оказывает точность оценки приведенной скорости витания частиц транспортируемого материала — с увеличением \mathcal{G}_{sn} при прочих равных условиях минимум кривой $dP/dL = f(\mathcal{G})$ смещается вправо.