

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОТЕРЬ НА ТРЕНИЕ ПО ДЛИНЕ ТРУБОПРОВОДА В СИСТЕМАХ ПНЕВМОТРАНСПОРТА

Чальцев М.Н., Войцеховский С.В.
Донецкий национальный технический университет
Автомобильно-дорожный институт

Розроблено методику розрахунку коефіцієнта втрат на тертя від твердої фази при пневматичному транспортуванні сипучих матеріалів, яка дозволяє визначати втрати тиску на транспортування з максимальною похибкою в 20 відсотків, що може вважатися прийнятним для рішення інженерних задач.

В таких отраслях промышленности, как угольная, химическая, энергетика, сельское хозяйство, строительство и др., в которых устройства и системы пневматического транспорта мелкодисперсных материалов являются составной частью многих технологических процессов, дальнейшее совершенствование этих систем представляет собой важную и актуальную задачу. На сегодняшний день проведено много исследований в области создания методик расчета систем пневмотранспорта, в частности, определения энергетических затрат на транспортирование сыпучего материала [1,2,3,4]. Следует отметить, что различные методики довольно хорошо качественно согласуются между собой и экспериментальными данными. Однако в количественных оценках между ними имеются существенные различия, достигающие 70 и более процентов.

Так, большинство авторов для определения потерь давления на транспортировку материала dp , отнесенных к единице длины трубопровода dl используют известную зависимость [1]:

$$\frac{dp}{dl} = \lambda_m \frac{\rho_a V_a^2}{2D},$$

где коэффициент потерь на трение определяется как

$$\lambda_m = \lambda_a + \lambda_s.$$

Здесь D – внутренний диаметр трубопровода, индексы m относятся к смеси воздуха и материала, a – к воздуху, s – к твердой фракции. Определение коэффициента трения для чистого воздуха λ_a в основном производится по аналогии с гидравлически гладкими трубопроводами (формула Блазиуса):

$$\lambda_a = \frac{0.316}{\text{Re}^{0.25}}$$

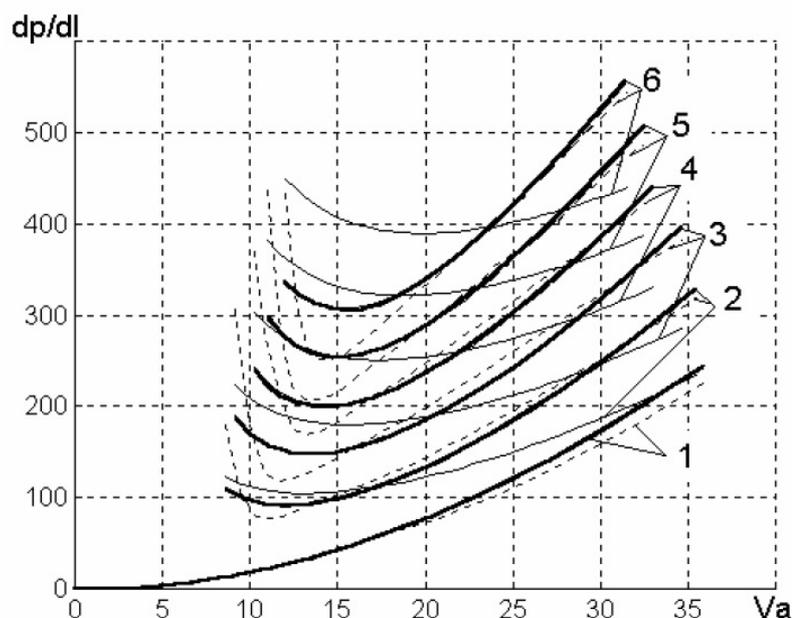


Рис.1. Удельные потери давления в трубопроводе при транспортировке полистирола

Для определения потерь от твердой составляющей пневмотранспортного потока λ_s в литературе существует большое количество методик, в большей или меньшей степени адекватно описывающих процесс. На рисунке 1 приведены экспериментальные и теоретические зависимости потерь давления, выполненные по различным методикам определения λ_s [2]. Здесь пунктирные линии соответствуют эксперименту, тонкие сплошные - теоретические кривые [2,3], диаметр транспортного трубопровода 50 мм, средний диаметр частиц $d_s = 2.4$ мм, линия 1 соответствует чистому воздуху, линии от 2 до 6 - массовому расходу материала $G_s = 251; 497; 743; 995$ и 1244 кг/час, соответственно. На рисунке 2 приведены результаты расчета по этим же методикам для солода ($d_s = 5$ мм, линия 2) и золы ($d_s = 40$ мкм, линии 3 и 4) [2]. Диаметр транспортного трубопровода 100 мм, линия 1 - чистый воздух, значения $G_s = 228; 500$ и 600 кг/ч, соответственно. Как видно из приведенных зависимостей, согласование расчетных и экспериментальных кривых, полученных по одной и той же методике, существенно отличаются от удовлетворительного совпадения для одного материала, до неудовлетворительного для другого.

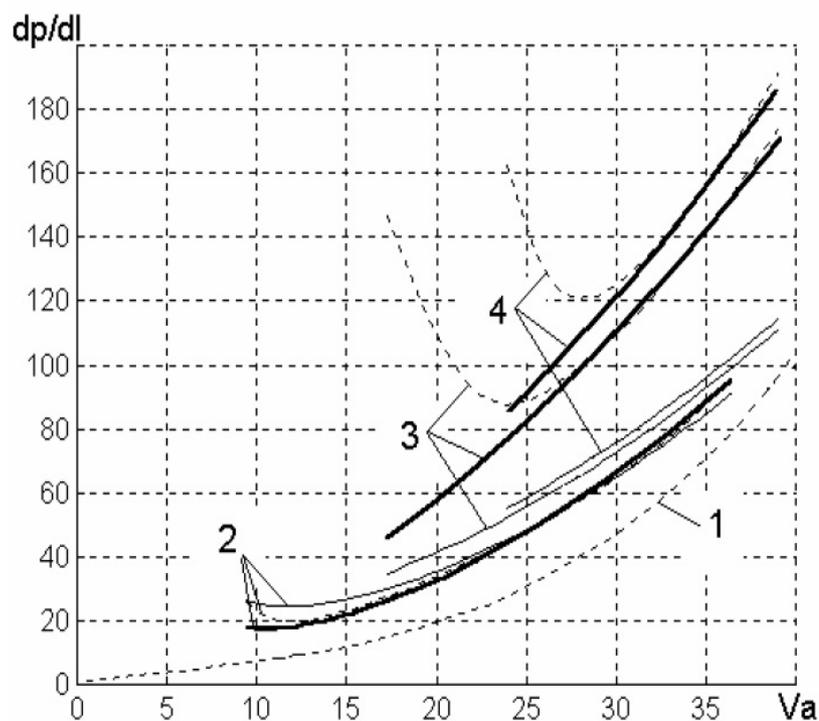


Рис.2. Удельные потери давления при транспортировке солода и золы

Такая же тенденция характерна и для других методик определения удельных потерь давления при широком варьировании плотностей и диаметров частиц транспортируемого материала (от десятков мкм до миллиметров), а также диаметров трубопроводов.

Таким образом, для повышения точности расчета удельных потерь давления в транспортном трубопроводе необходимо учитывать изменение отношений диаметров частиц материала и трубопровода, геометрических и режимных параметров взвесенесущего потока в широком диапазоне. Для решения поставленной задачи необходимо произвести математическую обработку существующих экспериментальных данных по удельным потерям давления, и по результатам расчетов получить обобщенную зависимость для определения λ_s .

При нахождении аналитической зависимости для λ_s использовались экспериментальные данные для широкого диапазона транспортируемых материалов: цемента, угольной пыли и золы [2], полистирола, солода и баритов [3], пшеницы и ячменя [4] при варьировании диаметров трубопроводов от 40 до 150 мм. В качестве значащих факторов использовались отношения основных характеристик пневмотранспортного потока: плотность ρ_s , диаметр d_s и скорость витания w_s твердых частиц; плотность ρ_a и скорость V_a сжатого воздуха; диаметр трубопровода D ; средняя скорость материала в трубопроводе V_s ; а также безразмерные параметры – массовая концентрация твердой фазы $\mu_s = G_s / G_a$ и чисел Фруда для воздуха $Fr_a = V_a / \sqrt{gD}$ и частиц $Fr_s = w_s / \sqrt{gd_s}$.

В результате математической обработки экспериментальных данных по удельным потерям давления в транспортном трубопроводе была определена аналитическая зависимость для коэффициента потерь на трение от твердой фракции пневмотранспортного потока:

$$\lambda_s = 4 \cdot 0.00316 \cdot \mu_s^{\frac{d_s}{D}} \cdot Fr_a^{-0.25} \cdot Fr_s^{0.25} \cdot \left(\frac{V_a - V_s}{w_s} \right)^{0.25}.$$

Следует отметить, что при скоростях транспортирующего воздуха ниже критической скорости транспортирования, суммарная ошибка определения dp/dl существенно возрастала, что можно объяснить осаждением материала на стенках трубопровода, приводящего к дюнообразованию. При этом процесс транспортирования становится нерегулярным и плохо поддается математической обработке. В целом можно принять приведенную зависимость для определения потерь на трение при движении транспортного потока без фазы дюнообразования. Максимальная погрешность расчета при этом не превышает 20 процентов в широком диапазоне изменения типоразмеров транспортных трубопроводов и видов транспортируемых материалов, что можно считать приемлемым для решения инженерных задач. Результаты расчета по приведенной зависимости изображены на рисунках 1 и 2 (жирная сплошная линия).

Выводы:

1. Разработана методика расчета удельных потерь давления при пневматическом транспортировании мелко дисперсных материалов в широком диапазоне изменения видов материалов и типоразмеров транспортного трубопровода, заключающаяся в определении коэффициента потерь на трение твердой фазы;
2. Максимальная погрешность расчета при движении транспортного потока без фазы дюнообразования не превышает 20 процентов, что может считаться приемлемым для решения инженерных задач;
3. Данная методика не дает удовлетворительного совпадения расчетных и экспериментальных данных при высоких концентрациях твердой фазы пневматического потока с элементами дюнообразования;
4. Перспективой дальнейших исследований является дополнение методики определения λ_s условиями, учитывающими явления, возникающие при докритической скорости транспортировки.

Литература:

1. Голобурдин А.И. Пневмотранспорт в резиновой промышленности. - М.: Химия, 1983. - 161с.
2. Klinzing G.E. Pneumatic conveying of solids. - Pittsburg. USA, 1997 - 592с.
3. Mills D. Pneumatic conveying design guide. - Glasgow. UK, 1990. - 638с.
4. Зуев Ф.Г. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях. - М.: Колос, 1976. - 344с.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Наука, 1977. - 832с.