

Особенности расчета системы пневмотранспорта карбамида гранулированного

Васильчик С. О.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В данной статье описывается подробная методика, которая позволяет выполнить расчет систем пневмотранспорта для эффективной транспортировки гранулированного карбамида. Авторы провели тщательный анализ имеющихся моделей, используемых для расчета основных параметров системы пневмотранспорта сыпучих материалов.

Пневмотранспорт является эффективной и инновационной системой перемещения различных материалов с использованием сжатого воздуха или газа. Он предлагает множество преимуществ, таких как высокая скорость и точность доставки, минимальные потери материала, автоматизация процесса и возможность работы на больших расстояниях.

Он может применяться для перевозки материалов как на короткие расстояния внутри производственных помещений, так и на длинные расстояния между различными участками производства или даже между разными зданиями.

Пневмотранспорт карбамида гранулированного, или урии, представляет собой эффективную и надежную систему транспортировки гранулированного карбамида с использованием сжатого воздуха. Карбамид гранулированный широко применяется в различных отраслях, особенно в химической промышленности и сельском хозяйстве, в качестве азотного удобрения.

Расчет системы пневмотранспорта карбамида гранулированного состоит из:

1. Определения массовой концентрации смеси.
2. Определения скорости витания и скорости транспортировки.
3. Аэродинамического расчета системы.

Определение массовой концентрации смеси

Массовая концентрация смеси в расчетах пневмотранспорта — это отношение массы транспортируемого материала к массе транспортирующего воздуха. Этот параметр влияет на скорость, давление и эффективность пневмотранспорта;

$$\mu = \frac{G_M}{G_H},$$

где G_M – массовый расход транспортируемого материала; G_B – массовый расход воздуха.

Предварительный выбор значения массовой концентрации осуществляется по таблицам и экспериментальным данным или можно воспользоваться эмпирической формуле [1]:

$$\mu = \frac{a}{e^{b \cdot l_{\text{ПР}}}},$$

где a и b – параметры формулы, которые зависят от характеристики материала и приведенной длины трубопровода $l_{\text{ПР}}$; $l_{\text{ПР}}$ – приведенная длина трубопровода, м.

Определение скорости витания и скорости транспортировки

Скорость транспортирования $U_{\text{транс}}$ – минимальная скорость воздушного потока, при которой материал перемещается в трубопроводе во взвешенном состоянии без осаждения на стенках труб.

Исходя из этого, скорость транспортирования материала в вертикальных трубах должна быть больше скорости витания U_B , а в горизонтальных трубах больше скорости трогания $U_{\text{тр}}$.

Наиболее достоверной и приемлемой формулой скорости витания следует признать формулу В. А. Успенского [2]:

$$U_B = \sqrt{\frac{4gd_3(\rho_T - \rho_0)}{3C\rho_0}},$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; d_3 – эквивалентный диаметр частицы, мм; ρ_T и ρ_0 – соответственно плотность твердой фазы и воздуха, кг/м³; C – коэффициент сопротивления частицы, зависящий от числа Рейнольдса (Re).

При концентрации частиц в суспензии более 5% они начинают влиять друг на друга. Такое перемещение называется стесненным.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет предложил метод определения коэффициента сопротивления частицы при стесненном перемещении твердых частиц

Для стесненного перемещения используют эмпирическую для определения числа Рейнольдса (Re) формуле [3]:

$$\text{Re} = \frac{Ar \cdot (1-\beta)^{4,75}}{18 + 0,61 \cdot \sqrt{Ar \cdot (1-\beta)^{4,75}}},$$

где β – объемная доля твердой фазы, определяемая по формуле:

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{\rho_{\tau}}{\mu \cdot \rho_0}},$$

где Ar – критерий Архимеда и определяется по формуле [4, с. 53]

$$Ar = \frac{d_{\text{экв}}^3 \cdot g \cdot (\rho_{\tau} - \rho_0)}{\rho_0 \cdot \nu^2}.$$

Согласно источнику [6, с. 3] для определения коэффициента сопротивления частицы может использоваться формула Адамова с относительной погрешностью около 10% в диапазоне чисел Рейнольдса от 0,1 до 200000:

$$C = \frac{24}{\text{Re}} \cdot \left(1 + 0,065 \text{Re}^{\frac{2}{3}} \right)^{\frac{3}{2}}.$$

Определив скорость витания находим расчетную скорость движения воздушного потока в материалопроводе v_p , м/с по формуле [1, с. 239]:

$$v_p = (1,5 \dots 2) \cdot v_n,$$

где 1,5...2 – коэффициент запаса, для надежного транспортирования.

Аэродинамического расчета системы пневмотранспорта

Аэродинамический расчет включает в себя:

- определение требуемого расхода воздуха;
- определение требуемого диаметра трубопровода;
- определение потерь давления;
- определение параметров воздуходувной машины.

Требуемый расход воздуха находят из формулы [1, с. 356]:

$$L_B = \frac{G_T}{\rho_0 \cdot \mu},$$

где G_T – часовой расход карбамида гранулированного, т/час.

Требуемый внутренний диаметр трубопровода рассчитывается по величине необходимого расхода воздуха [1, с. 356]:

$$d_T = \sqrt{\frac{4 \cdot L_B}{\pi \cdot v}}.$$

При известной скорости транспортирования материала и диаметре уточняем расход воздуха.

При пневматическом транспортировании сжатый воздух используется для перемещения материалов через трубопроводы или каналы. Воздух создает поток, который транспортирует материалы от одного места к другому. Воздуху необходимо преодолевать определенные силы и сопротивления во время этого процесса. Вот некоторые из основных факторов, которые сжатый воздух должен преодолевать при пневматическом транспортировании:

Сопротивление трубопровода: Воздух должен преодолевать силы трения и сопротивления, вызванные стенками трубопровода, через которые происходит перемещение материалов.

Гравитацию: Если транспортировка происходит в вертикальном направлении, то сжатый воздух должен преодолевать силу тяжести, чтобы поднять материалы вверх или удерживать их на определенной высоте.

Силу инерции: При изменении скорости транспортировки или направления движения сжатый воздух должен преодолевать инерционные силы, связанные с перемещаемым материалом.

При расчете потерь давления в системе пневмотранспорта, методология напоминает аэродинамический расчет систем вентиляции, но существуют некоторые отличия.

Первое отличие заключается в том, что потери давления на трение во время пневмотранспортировки продукта определяются с использованием эмпирической формулы. [5, с. 37]:

$$P_{\text{тр.см}} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho_0 \cdot v^2}{2} \cdot (1 + K\mu).$$

где K – опытный коэффициент сопротивления аэросмеси, получивший в дальнейшем название «коэффициент Гастерштадта».

Значение K определяется экспериментально или по формулам и таблицам [1, с. 239], для различных материалов и условий изменяется в диапазоне от 0,3 до 2 при $v = 15–35$ м/с.

Если в литературе отсутствует конкретный коэффициент, то в таких случаях может быть использован коэффициент, соответствующий близко-му по характеристикам веществу.

Для карбамида гранулированного опытный коэффициент отсутствует, поэтому коэффициент принимается как коэффициент схожего по характеристикам вещества, в нашем случае можно с достаточной достоверностью принять пшено.

Пшено схоже по форме (шарообразное) и размерам (d_3 пшена составляет 2,1 мм, а d_3 карбамида составляет 2,65 мм), имеет схожую плотность ($\rho_{\text{пшено}} = 1340$ кг/м³, $\rho_{\text{карбамид}} = 1300$ кг/м³), имеет схожую насыпную плотность ($\rho_{\text{нас.пшено}} = 760–800$ кг/м³, $\rho_{\text{нас.карбамид}} = 730–790$ кг/м³).

Для предварительных расчетов рекомендуется использовать среднее значение $K = 0,3–0,4$. Принимаем $K = 0,4$.

Длина участков воздухопроводов определяется по формуле:

$$\sum l = l + l_3,$$

где l_3 – сумма эквивалентных длин отвода на 90° , эквивалентные длины берутся по таблицам, м. [1, с. 360].

Определение параметров воздуходувной машины

Воздуходувная машина подбирается на основании значений расхода воздуха и общих потерь давления в системе.

Общие потери давления равны потерям давления, полученным при расчете установки, плюс потери давления на неучтенные сопротивления. Величину неучтенных потерь давлений принимают равной 10–15 % от суммарных потерь давления, полученных при расчете:

$$\Delta P = P \cdot 1,1.$$

Требуемый расход воздуха определяют по формуле [1, с. 397]:

$$L = L_{\text{в}} \cdot m_{k1} \cdot 3600,$$

где m_{k1} – коэффициент, учитывающий потери воздуха через загрузочное устройство [1, с. 397].

Литература

1. Хрусталеv, Б. М. Пневматический транспорт / Б. М. Хрусталеv, Н. В. Кислов. – Минск: ООО «Информационная служба недвижимости», 1998. – 452 с.
2. Успенский, В. А. Пневматический транспорт / В. А. Успенский. – Изд. 2-е, доп. – Свердловск: Metallургиздат, Свердловское отделение, 1959. – 231 с.
3. Расчет установок пневмотранспорта: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Оборудование производств редких элементов» для студентов IV курса, обучающихся по специальности 240501 Химическая технология материалов современной энергетики / сост. Кантаев А. С., Брус И. Д., Тураев Н. С.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 28 с.
4. Архипов, В. А. Движение частиц дисперсной фазы в несущей среде: учеб. пособие / В. А. Архипов, А. С. Усанина. – Томск: Изд. Дом ТГУ, 2014. – 252 с.
5. Сазонов, Э. В. Особенности расчета систем пневмотранспорта с учетом микроклимата помещений / Э. В. Сазонов, В. В. Шичкин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 4(7). – С. 29–40.

УДК 697.3/4

Разновидности и конструкции покрытий станций Минского метрополитена и их теплофизические характеристики

Кононов Д. А.^{1,2}, Белениник О. И.^{1,2}, Сизов В. Д.¹.

¹ Белорусский национальный технический университет

² ОАО «Минскметропроект»

Минск, Республика Беларусь

В работе рассмотрены основные виды конструкций покрытий Минского метрополитена, состав конструкций их теплофизические характеристики. Рассмотрены теплофизические характеристики грунтовой засыпки и дорожных покрытий над станциями Минского метрополитена.

Минский метрополитен является метрополитеном мелкого заложения. Состоит из 3 линий, включающих в себя 33 станции, из которых 25 колонные станции и 8 односводчатые станции. На данный момент происходит строительство и проектирование еще 2 односводчатых станций и 8 колонных станций.

Виды покрытий станций Минского метрополитена. Станции метрополитена располагаться в густой жилой застройке. Чаще всего располагаются под проезжими частями либо под зелеными и пешеходными зонами.