

Научная статья

УДК 629.4.064.2

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-6-51-57

Потапов Валентин Яковлевич, Симисинов Денис Иванович, Архипов Максим Владимирович,
Потапов Владимир Валентинович

Уральский государственный горный университет

* для корреспонденции: max-uggu@mail.ru, 2c1@inbox.ru

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОТРУБОПРОВОДА ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА**Информация о статье**

Поступила:

31 октября 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

14 ноября 2025 г.

Принята к печати:

15 ноября 2025 г.

Опубликована:

18 декабря 2025 г.

Ключевые слова:

пневмотранспорт, пневмотрубопровод, аэросмеси, энергетический баланс, модели транспортирования, участки разгона, горизонтальный, вертикальный, наклонные линии

Аннотация.

В горнодобывающей отрасли при работе с легкими рудными материалами, такими как уголь, асбест, мусковит и вермикулит, широко используется пневматический транспорт благодаря его технологичности и экономической эффективности. Одной из ключевых особенностей пневмотранспортных систем является их способность перемещать широкий спектр сыпучих материалов. Пневмотрубопроводы загрузочных устройств играют центральную роль в функционировании этих систем. Качество потока определяется такими факторами, как потери давления, распределение материала по периметру трубы, физико-механические свойства транспортируемого вещества, а также размеры и скорость частиц в воздушном потоке. Потери давления в промышленных пневмотранспортных системах, включающих разнообразные участки пневмопровода, обусловлены следующими факторами: ускорением материала на начальном этапе, движением с постоянной скоростью на горизонтальных участках, изменением вектора скорости на поворотах, а также работой на вертикальных и наклонных участках соответственно. Был проведен численный эксперимент, направленный на изучение суммарных потерь давления в горизонтальных участках пневмотранспортной системы. Согласно результатам эксперимента для эффективной пневмотранспортировки по горизонтальным участкам требуется, чтобы скорость воздушного потока была выше скорости движения транспортируемой смеси. При подъеме аэросмеси по вертикальным участкам пневмопровода, основная доля потерь давления приходится на преодоление силы тяжести транспортируемым материалом. По результатам численного эксперимента была разработана математическая модель для определения ключевых характеристик пневмотранспортной системы, включая скорости компонентов аэросuspензии и потери давления на всех участках пневмопровода. Рассмотрены суммарные потери давления на горизонтальных, вертикальных, наклонных и поворотных участках для различных аэросuspензий. Модель предназначена для оптимизации конструкции и рабочих режимов пневмотранспортных систем.

Для цитирования: Потапов В.Я., Симисинов Д.И., Архипов М.В., Потапов В.В. Обоснование параметров пневмотрубопровода загрузочного устройства // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 6 (182). С. 51-57. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-6-51-57, EDN: AKSWHU

Введение.

Основное преимущество пневмотранспортных систем перед другими механическими методами заключается в том, что они используются в качестве основного движущего фактора для перемещения материалов. Работа таких установок основана на методе переноса твердых частиц за счет кинетической энергии потока сжатого воздуха [1].

Распространенность сжатого воздуха как источника энергии в горном деле обусловлена рядом

ключевых преимуществ: доступностью, эластичностью, взрыво- пожаробезопасностью, и способностью конденсироваться в нормальных условиях, высокая скорость передачи давления на большие расстояния [2]. Этими факторами определяется распространенность пневмотранспортных систем, основанных на методе переноса твердых частиц за счет кинетической энергии потока сжатого воздуха [1].

Аэросмесительные устройства загрузки, применяемые в пневматических системах, играют ключевую роль, существенно влияя на эффективность всей системы. Основными элементами системы для загрузки продукта являются горизонтальные или вертикальные загрузочные устройства. В пневматических системах, работающих на основе принципа нагнетания, загрузка продукта ведется в находящийся под давлением трубопровод.

Расчеты в области пневматического транспорта заключаются, как правило, в оценке потерь давления в трубопроводе, в котором выделяют участки: разгонный, горизонтальный, поворотный вертикальный и наклонный. При этом основные потери давления происходят на прямолинейных, чаще наклонных участках в силу их большой протяженности. Значительное влияние на эти потери оказывают относительные скорости между дисперсными частицами твердого материала и воздушным потоком, что активно изучается в научных работах [3].

Для горизонтальных систем пневмотранспорта особое значение приобретает равномерное распределение материала по поперечному сечению пневмопровода. Это распределение зависит от множества факторов: размеров и плотности частиц материала, чистоты стенок трубопровода, углов его наклона, скорости потока воздуха [4].

В системах, где материал транспортируется по вертикальным пневмопроводам, ключевым параметром двухфазного потока является уровень содержания твердых частиц. При высоком содержании твердого компонента (150-200 л воздуха на 1 м³ материала), частицы тесно взаимодействуют, что приводит к расчету средней скорости их взвешивания для всего потока. При низких концентрациях (менее 400-500 л воздуха на 1 м³), влияние частиц друг на друга становится незначительным, и скорость взвешивания частиц рассчитывается как для отдельной частицы в бескрайнем пространстве (согласно [4, 5]).

Одним из главных отличий в пневмоперевозке сыпучих материалов является их многообразие, при этом основной их характеристикой является размеры частиц. Общепринятая классификация сыпучих материалов и их смесей содержит следующие классы: неоднородные смеси (размер частиц более 2 мм); грубодисперсные (размер частиц от 0,15 до 2,0 мм); тонкодисперсные (размер частиц от 0,05 до 0,15 мм) и аэрозоли (размер частиц менее 30-50 мкм) [6].

Объект исследования. В статье рассматривается процесс транспортирования по пневмотрубопроводу загрузочного устройства неоднородных сыпучих материалов средней крупностью менее 3 мм, с весовой концентрацией $\mu < 1,0$.

Цель исследования. Обоснование параметров пневмотрубопровода загрузочного устройства.

Методы. Общелогические методы (анализ и обобщение научно-технической и патентной информации, индукция, синтез и т. д.), теория подобия, методы математического и физического моделирования.

Методология. Математическая статистика при проведении экспериментальных исследований на физической модели.

Результаты исследования и их обсуждение. Потери давления аэросмеси с частицами транспортируемого материала в пневмотрубопроводе будут выше по сравнению с перемещением воздуха. К факторам, определяющим потерю давления, следует отнести: геометрические характеристики транспортируемого материала и трубопровода, плотность транспортируемого материала, скорость перемещения смеси [7].

Исходя из того, что перемещение аэросмеси в пневмотрубопроводе обеспечивается разностью давлений, создаваемой вентилятором, рассмотрим условия формирования энергетического баланса движения воздушной смеси на участке трубы, ограниченной сечениями 1-1 и 2-2, имеющей наклон φ (Рис. 1). На этих участках представлены скорости потока воздуха V_{a1} , V_{a2} и твердой фазы V_{s1} , V_{s2} и, соответственно, давления P_1 , P_2 .

На приведенной схеме (см. Рис. 1) потери давления аэросмеси вызваны:

- трением воздуха о стенки трубы (ΔP_{af});
- трением частиц в аэросмеси (ΔP_{asf});
- трением частиц о стенки трубы (ΔP_{sf});
- силой тяжести при подъеме аэросмеси (ΔP_{lift});
- взаимодействием частиц в аэросмеси (ΔP_{imp}).

Энергетический баланс транспортирования аэросмеси с учетом указанных потерь:

$$0,5P_{af}V_{a1}^2 + 0,5P_{sf}V_{s1}^2 + P_1 = 0,5PP_{af}V_{a2}^2 + 0,5P_{sf}V_{s2}^2 + P_2 + \Delta P_{af} + \Delta P_{asf} + \Delta P_{lift} + \Delta P_{sf} + \Delta P_{imp} \quad (1)$$

Уравнение энергетического баланса (1) упрощается при следующих условиях:

- для равномерного движения аэросмеси;
- скорости потока воздуха V_{a1} , V_{a2} и твердой фазы V_{s1} , V_{s2} постоянны;
- при низкой концентрации твердой фазы ($\mu < 1,0$) потери давления частиц материала о стенки трубы ΔP_{sf} незначительны, и ими можно пренебречь [8, 9].

В таком случае уравнение (1) принимает следующий вид:

$$P_1 - P_2 = \Delta P_a + \Delta P_{as} + \Delta P_{lift} \quad (2)$$

Потерю давления ΔP_{1-2} на расстоянии Δl между сечениями трубы 1-1 и 2-2 (см. Рис. 1) можно выразить с учетом того, что перемещение материала определяется и зависит от силы тяжести, разницы давлений, сил трения и аэродинамического сопротивления.

Известна зависимость, применяемая расчетов потерь давления при перемещении жидкости в трубе

$$\Delta P = \Delta R/s, \quad (3)$$

где ΔR сила аэродинамического сопротивления, Н; s – площадь поперечного сечения трубы.

В соответствии с уравнением Дарси потери давления ΔP при ламинарном течении жидкости:

$$\Delta P = \lambda_a \frac{\Delta l}{d} \frac{\rho V_a^2}{2}, \quad (4)$$

где λ_a – коэффициент потерь на трение для ламинарного течения; d – диаметр трубопровода, м.

По аналогии потери давления при движении аэросмеси в трубе:

$$\Delta P_{as} = \lambda_{as} \frac{\Delta l}{d} \frac{\rho_a V_a^2}{2}, \quad (5)$$

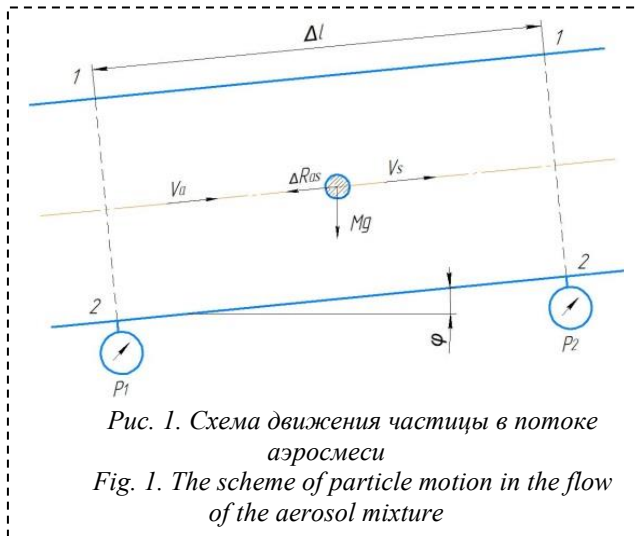


Рис. 1. Схема движения частицы в потоке аэросмеси

Fig. 1. The scheme of particle motion in the flow of the aerosol mixture

где λ_{as} – коэффициент потерь на трение аэросмеси.

Сила аэродинамического сопротивления, действующая на частицы материала в воздушном потоке

$$\Delta R_{as} = k_s P_s S_{mid} \frac{V_{as}^2}{2}, \quad (6)$$

где S_{mid} – суммарная площадь частиц материала в нормальной проекции относительно направлению движения аэросмеси (миделево сечение), м²; V_r – скорость движения материала относительно скорости движения воздуха: $V_r = V_a - V_s$, м/с; k_s – коэффициент сопротивления частиц материала.

Значение k_s зависит от геометрических свойств частиц. В случае вертикального расположения трубы частицы витают в потоке ($V_s = 0$), и сопротивление ΔR_{as} уравновешивается силой тяжести. На основании этого заключения, подставив k_s в уравнение (5), определим по уравнению (3) потери давления с учетом действующей силы аэродинамического сопротивления (6), действующей на частицы материала в воздушном потоке:

$$\Delta P_{as} = \frac{\Delta R_{as}}{s} = \frac{v \Delta l g V_r^2}{V_{vc}^2}, \quad (7)$$

где V_{vc} – скорость витания частиц в стесненных условиях, которая может быть определена по формуле [10] $V_{vc} = V_v \left(1 - \frac{d_s}{D}\right)^2$, где d_s – эквивалентный диаметр частиц, м. Для тонкодисперсных частиц при низкой концентрации аэросмеси $V_{vc} \approx V_v$.

Наклонное транспортирование. Потери давления в трубе на участке, ограниченном сечениями 1-1 и 2-2, имеющей наклон φ (см. Рис. 1), вследствие затрат энергии на подъем материала равны:

$$\Delta P_{lift} = \frac{v g \Delta l}{\sin \varphi}. \quad (8)$$

Выражения (4), (5), (7), (8) подставим в (2) и после сокращения уравнение энергетического баланса примет вид

$$\frac{\lambda_{as} P_a V_a^2}{2D} = \frac{\lambda_a P_a V_a^2}{2D} + v g \left(\frac{V_r^2}{V_{vc}^2} + \sin \varphi \right). \quad (9)$$

В соответствии с [11] коэффициент сопротивления перемещения материала равен:

$$\lambda_{as} = \lambda_a (1 + K \mu), \quad (10)$$

где K – коэффициент, учитывающий сопротивление движению частиц при пневмотранспорте; μ – весовая концентрация, определяемая как соотношение весовых расходов материала и воздуха: $\mu = \frac{G_s}{G_a}$, или

$$\mu = \frac{v g V_{vc}}{P_a g V_{as}}, \text{ кг/кг.}$$

Выразим объемную концентрацию v через весовую μ : $v = \mu \frac{P_a V_a}{V_s}$.

Подставив объемную концентрацию в (9), получим коэффициент сопротивления перемещения материала согласно (10):

$$\lambda_{as} = \lambda_a \left[1 + \mu \left(\frac{2gD}{(\lambda_a V_s V_a)} \right) \left(\frac{V_r^2}{V_{vc}^2} + \sin \varphi \right) \right]. \quad (11)$$

Сопоставляя уравнения (10) и (11) можно определить коэффициент сопротивления частиц при пневмотранспорте:

$$K = \left(\frac{2gD}{(\lambda_a V_s V_a)} \right) \left(\frac{V_r^2}{V_{vc}^2} + \sin \varphi \right). \quad (12)$$

Вертикальное транспортирование. Угол наклона трубопровода к горизонтали $\varphi = 90^\circ$, соответственно $\sin \varphi = 1$. Для этой схемы скорость движения частиц материала с учетом скорости витания частиц в вертикальном трубопроводе [11, 12]

$$V_s = V_a - V_{vc}, \quad (13)$$

эта зависимость определяет условие начала движения частиц в вертикальной пневмотрубе, которое выполняется при $V_a > V_{vc}$. Таким образом, скорость движения материала V_s будет отличаться от скорости воздуха V_a на величину V_{vc} , а относительная скорость движения материала и воздуха V_{as} будет равна скорости витания частиц в стесненных условиях, сохраняя это значение постоянным: $V_{as} = V_a - V_s = V_{vc}$.

Вышесказанное позволяет преобразовать уравнение (12) для определения коэффициента сопротивления при вертикальном пневмотранспорте:

$$K = \frac{4gD}{\lambda_a v V_a (V_a - V_{vc})} \quad (14)$$

Горизонтальное транспортирование характеризуется углом наклона трубопровода к горизонтали $\varphi = 0^\circ$, соответственно $\sin \varphi = 0$. Частицы транспортируемого материала начнут движение по горизонтальной трубе при условии, когда скорость воздуха станет выше скорости трогания V_{st} .

В таком случае установившееся движение будет характеризоваться скоростью частиц V_s , меньшей скорости воздуха V_a на скорость трогания: $V_s = V_a - V_{st}$.

По данным [13] скорость трогания частиц связана со скоростью витания частиц в стесненных условиях отношением $V_{st} = k_s V_{vc}$, где k_s – коэффициент скорости трогания, подбираемый в зависимости от материала частиц по экспериментальным данным [13].

Коэффициент сопротивления частиц на горизонтальных участках пневмотранспорта в соответствии с (12) будет равен

$$K = \frac{2gD}{\lambda_a V_a (V_a - k_s V_{vc})} k_s. \quad (15)$$

Приведенная математическая модель движения частиц транспортируемого материала в аэросмеси позволяет рассчитать коэффициенты сопротивления аэросмеси λ_{as} и сопротивления частиц при пневмотранспорте k_s .

Частицы транспортируемого материала в аэросмеси совершают сложную траекторию переме-

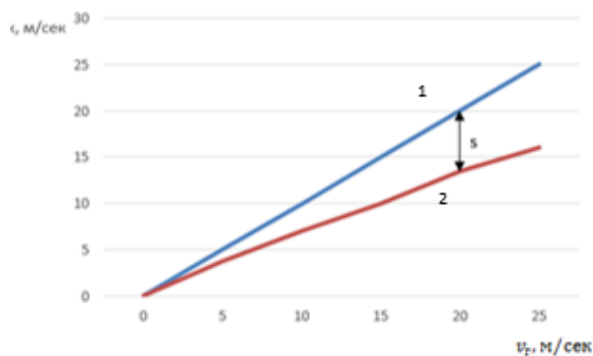


Рис. 2. Соотношение конечной скорости аэросмеси от скорости воздуха:

1 – скорость воздуха, 2 – конечная скорость аэросмеси

Fig. 2. The ratio of the final velocity of the particles in the air to the air velocity: 1 – the air velocity, 2 – the final velocity of the particles in the air ($d_{cp}=0.35$ mm), 2 – air

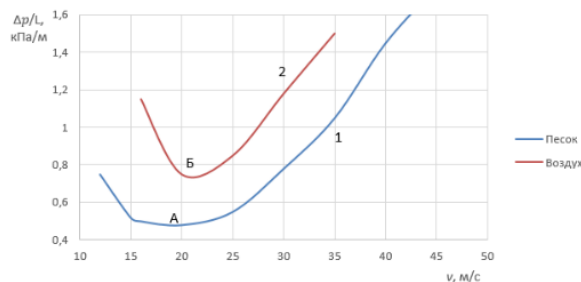


Рис. 3. Совокупность потерь давления на горизонтальных участках пневмопровода для составляющих аэросмесей: 1 – грубодисперсные частицы (песок, $d_{cp}=0,35$ мм), 2 – воздух

Fig. 3. Graph of specific pressure losses in horizontal flows of air mixtures: 1 – sand ($d_{cp}=0.35$ mm), 2 – air

ний, не ограниченную направлением движения воздуха в трубопроводе. Частицы, взаимодействуя друг с другом и стенками трубы, меняют скорость и направление движения. Поэтому следует рассмотреть движение частиц перпендикулярно вдоль оси трубопровода в зависимости от конечных скоростей материала $V_{as}=V_a-\Delta S$, где ΔS – разница между скоростью воздуха и конечной скоростью (скольжение), м/с. На Рис. 2 показана зависимость конечной скорости аэросмеси от скорости воздуха в горизонтальной трубе V_a . В начале процесса транспортировки, когда скорость воздуха минимальна, частицы находятся во взвешенном состоянии, не взаимодействуя со стенками трубы, по мере увеличения скорости воздуха интенсивность этого взаимодействия растет, а значение составляющей ΔS увеличивается.

В вертикально расположенных участках трубопроводов транспортируемые частицы перемещаются в аэросмеси не только по направлению главной оси, но также перпендикулярно ей. После контакта со стенкой трубы траектория их перемещения становится ближе к радиальному, одновременно вдоль осевой линии трубы благодаря оставшейся силе, учитывающей последствия удара.

Для вертикальных участков трубы на конечную скорость транспортируемого материала будет дополнительно оказывать влияние скорость витания частиц V_v . Зависимость конечной скорости v_k в вертикальном трубопроводе показана на Рис. 2 [14].

Перемещаясь по вертикальным участкам трубопровода, частицы сохраняют состояние взвешенности. Скольжение S , вызванное трением частиц о стенки трубы и силой тяжести сохраняется неизменным. Следовательно, конечная скорость материала прямо пропорциональна скорости воздуха.

В промышленной пневмотранспортной системе, представленной различными по характеристикам отрезкам пневмопровода, потери давления приурочены характерным для следующих участков:

- Разгонный участок – материал движется с ускорением.
- Горизонтальный участок – материал движется с постоянной скоростью.
- Поворотный участок – материал движется с переменным ускорением (замедление – ускорение).
- Вертикальный участок – материал теряет или набирает энергию при подъеме и спуске соответственно.
- Наклонный участок – материал теряет или набирает энергию в зависимости от направления и угла наклона.

Совокупные потери давления на горизонтальных участках пневмопровода для составляющих аэросмеси: воздуха и транспортируемых частиц материала, рассчитанные по формулам (2), (5), (7), (8), (15) приведены на графиках Рис. 3 [6].

Для приведенных графиков характерны области минимума давления А и Б. Для частиц транспортируемого материала скорость в точке А будет соответствовать скорости частиц равной примерно 18 м/с.

В соответствии с полученными зависимостями (Рис. 3) для эффективного пневмотранспортирования по горизонтальным участкам необходимо, чтобы скорость воздуха превышала скорость перемещаемой смеси на 15-20%.

При подъеме аэросмеси по вертикальным участкам пневмопровода потеря давления вызвана в первую очередь преодолением транспортируемого материала силы тяжести. В этом случае необходимо транспортируемому материалу обеспечить состояние взвешенности. Для этого скорость воздуха должна быть больше скорости витания частиц в вертикальном трубопроводе. Опыт показывает, что скорость транспортировки на вертикальном участке пневмопровода ниже в 3-5 раз, чем на горизонтальном участке [15].

Заключение. В статье приведена математическая модель и методика определения основных характеристик пневмотранспортной системы: скорости составляющих аэросмеси (воздуха и транспортируемых частиц), потерь давления для всех участков пневмопровода. Модель предназначена для оптимизации конструкции пневмотранспортной системы, режимов ее работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пальцев В. С. Исследование вертикальных материалопроводов при пневматическом транспортировании продуктов размола зерна // Труды ВНИИЗ. 1957. Вып. 32. С. 5–23.
2. Быков В. С., Скворцов А. К. Пневмотранспортные установки. Воронеж : ВГАУ, 2002. 163 с.
3. Гаврилюк Д. Н., Шишкин С. Ф. Относительная скорость движения твердой фазы в условиях пневмотранспорта на стационарных участках // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2003. №3. С. 137–141.
4. Siegel W. Entwicklungsstand der pneumatischen Förderung // Die Mühle + Mischfüttertechnik. 1977. Bd. 20. Pp. 291–296.
5. Chandana, R. A Comprehensive Scaling Up Technique for Pneumatic Transport Systems. Norwegian University of Science and Technology. 2005. 279 s.
6. Дорошенко В. А., Кожушко Г. Г. Трубопроводный гидравлический и пневматический транспорт. Учеб. пособие. Екатеринбург : Издательство АМБ, 2014. 194 с.
7. Часс С. И. Коэффициент сопротивления при пневмотранспорте мелкозернистых минеральных частиц. // Известия вузов. 1987. № 10. С. 109–111.
8. Вельшоф Г. Пневматический транспорт при высокой концентрации перемещаемого материала. М. : Колос, 1964. 160 с.
9. Евстифеев В. М. Трубопроводный транспорт пластичных сыпучих материалов в строительстве. М. : Стройиздат, 1989. 248 с.
10. Успенский В. А. Пневматический транспорт. М. : Metallurgizdat, 1952. 152 с.
11. Шелестович Т. С., Петренко С. М. К вопросу о коэффициенте сопротивления перемещения материала при пневмотранспорте // Инженерная экология: проблемы и решения: сборник трудов научно-практической конференции. 25–26 марта 2015 года. Белорусский национальный технический университет. Мозырь : Белый Ветер, 2015. С. 7–13.
12. Бурсиан В. Р. Пневматический транспорт на предприятиях пищевой промышленности. М. : Пищепромиздат, 1964.
13. Спиваковский А. О., Мучник В. С., Юфин А. П., Смолдырев А. Е. Гидравлический и пневматический транспорт на горных предприятиях. М. : Госгортехиздат, 1962.
14. Урбан Я. Пневматический транспорт. Пер. с чеш. Под ред. Л. М. Шведова. М. : Машиностроение, 1967. 256 с.
15. Шишкин С. Ф., Шишкин А. С. Пневмотранспорт дисперсных материалов. Учеб. пособие для вузов. СПб : Лань, 2021. 360 с.

© 2025 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Потапов Валентин Яковлевич, проф., доктор техн. наук, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5690-7654>, e-mail: 2c1@inbox.ru.

Симисинов Денис Иванович, доцент, доктор техн. наук, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6095-0073>, e-mail: 2c1@inbox.ru.

Архипов Максим Владимирович – старший преподаватель, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1689-6262>, e-mail: max-uggu@mail.ru

Потапов Владимир Валентинович, кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4862-523X>, e-mail: 2c1@inbox.ru

Заявленный вклад авторов:

Потапов В.Я. – генерация идеи исследования, постановка задачи исследования.

Симисинов Д.И. – математическая обработка результатов эксперимента

Архипов М.В. – подготовка и проведение эксперимента, анализ результатов.

Потапов В.В. – научный менеджмент, написание текста статьи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF THE PNEUMATIC PIPELINE OF THE LOADING DEVICE



Article info

Received:

31 October 2025

Accepted for publication:

14 November 2025

Accepted:

15 November 2025

Published:

18 December 2025

Keywords: pneumatic transport, pneumatic tubing, aerosols, energy balance equation, transportation models, acceleration section, horizontal section, turns of material pipelines, vertical sections, inclined lines.

Abstract.

In the mining industry, when working with light ore materials such as coal, asbestos, muscovite and vermiculite, pneumatic transport is widely used due to its technological effectiveness and cost-effectiveness. One of the key features of pneumatic conveying systems is their ability to move a wide range of bulk materials. Pneumatic pipelines of loading devices play a central role in the functioning of these systems. The quality of the flow is determined by such factors as pressure losses, distribution of material along the perimeter of the pipe, physical and mechanical properties of the transported substance, as well as the size and speed of particles in the air flow. Pressure losses in industrial pneumatic conveying systems, including various sections of the pneumatic pipeline, are due to the following factors: acceleration of the material at the initial stage, movement at a constant speed on horizontal sections, changes in the velocity vector on turns, as well as work on vertical and inclined sections, respectively. A numerical experiment was conducted to study the total pressure losses in horizontal sections of a pneumatic transport system. According to the results of the experiment, for efficient horizontal pneumatic transport it is required that the air flow velocity be higher than the velocity of the transported mixture. When the aeromixture rises along vertical sections of a pneumatic pipeline, the main share of pressure losses occurs due to the material being transported overcoming the force of gravity. Based on the results of the numerical experiment, a mathematical model was developed to determine the key characteristics of a pneumatic transport system, including the velocities of the aerosuspension components and pressure losses in all sections of the pneumatic pipeline. The total pressure losses in horizontal, vertical, inclined and turning sections for various aerosuspensions are considered. The model is intended to optimize the design and operating modes of pneumatic transport systems.

For citation: Potapov V.Ya., Simisinov D.I., Arkhipov M.V., Potapov V.V. Justification of parameters of the pneumatic pipeline of the loading device. Mining Equipment and Electromechanics, 2025; 6(182):51-57 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-6-51-57, EDN: AKSWHU

REFERENCES

1. Pal'tsev V.S. Study of vertical material pipelines during pneumatic transportation of grain milling products. *Proceedings of VNIIZ*. 1957; 32:5–23.
2. Bykov V.S., Skvortsov A.K. Pneumatic transport installations. Voronezh: VSAU; 2002. 163 p.
3. Gavriluk D.N., Shishkin S.F. Relative velocity of solid phase movement under pneumatic transport conditions at stationary sections. *Bulletin of BSTU im. V.G. Shukhova*. 2009; 3:137–141.
4. Siegel W. Entwicklungsstand der pneumatischen Förderung. *Die Mühle + Mischfuttertechnik*. 1977; 20:291–296.
5. Chandana R. A Comprehensive Scaling Up Technique for Pneumatic Transport Systems. Norwegian University of Science and Technology. 2005. 279 s.
6. Doroshenko V.A., Kozhushko G.G. Pipeline hydraulic and pneumatic transport. Textbook. Ekaterinburg: AMB Publishing House; 2014. 194 s.
7. Chass S.I. Resistance coefficient in pneumatic transport of fine-grained mineral particles. *News of universities*. 1987; 10:109–111.
8. Velshoff G. Pneumatic transport with high concentration of transported material. Moscow: Kolos; 1964. 160 p.
9. Evstifeev V.M. Pipeline transport of plastic and bulk materials in construction. V. M. Evstifeev. Moscow: Stroyizdat; 1989. 248 p.

10. Uspensky V.A. Pneumatic transport. M.: Metallurgy Publishing House; 1952. 152 p.

11. Shelestovich T.S., Petrenko S.M. On the issue of the coefficient of resistance to material movement during pneumatic transport. *Engineering ecology: problems and solutions: collection of papers of the scientific and practical conference*. March 25-26, 2015. Belarusian National Technical University. Mozyr: Bely Veter; 2015.

12. Bursian V.R. Pneumatic transport at food industry enterprises. M.: Pishchepromizdat; 1964.

13. Spivakovsky A.O., Muchnik V.S., Yufin A.P., Smoldirev A.E. Hydraulic and pneumatic transport at mining enterprises. M.: Gosgortekhzdat; 1962.

14. Urban Ya. Pneumatic transport. Translated from Czech. Ed. by L.M. Shvedov. M.: Mashinostroenie; 1967. 256 p.

15. Shishkin S.F., Shishkin A.S. Pneumatic transport of dispersed materials. Textbook for universities. SPb: Lan; 2021. 360 p.

© 2025 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Valentin Ya. Potapov, prof., D.Sc. (Eng.), Ural State Mining University (620144, Russia, Yekaterinburg, Kuibyshev str., 30), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5690-7654>, e-mail: 2c1@inbox.ru.

Denis I. Simisinov, associate professor, D.Sc. (Eng.), Ural State Mining University (620144, Russia, Yekaterinburg, Kuibyshev str., 30), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6095-0073>, e-mail: 2c1@inbox.ru.

Maksim V. Arkhipov – Senior Lecturer, Ural State Mining University (620144, Russia, Yekaterinburg, Kuibysheva St., 30), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1689-6262>, e-mail: max-uggu@mail.ru

Vladimir V. Potapov, PhD in Engineering, Associate Professor of the Mining Department, Ural State Mining University (620144, Russia, Yekaterinburg, Kuibysheva St. e-mail: 2c1@inbox.ru).

Contribution of the authors:

Valentin Ya. Potapov – generation of the research idea, formulation of the research problem.

Denis I. Simisinov – mathematical processing of the experimental results

Maksim V. Arkhipov – preparation and conduct of the experiment, analysis of the results.

Vladimir V. Potapov – scientific management, writing the text of the article.

Authors have read and approved the final manuscript.

