

УДК 621.6.04

ОСНОВЫ РАСЧЕТА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ (ПУ) ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ СМЕСЕЙ

Афанасьев А.И., Потапов В.Я., Костюк П.А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»,
Екатеринбург, e-mail: kostyukpetr@bk.ru

В работе рассматриваются основы расчета пневматических устройств для транспортирования различных сыпучих смесей. Приведен обзор систем пневмотранспорта. Авторами составлена математическая модель данного устройства. Математически обоснованы геометрические параметры устройства и рассчитаны его основные узлы. Приведена схема камерного питателя пневмотранспортной установки и описан принцип ее действия. Данный камерный питатель защищен авторскими свидетельствами. Был проведен ряд экспериментов, подтверждающих работоспособность всех узлов пневмотранспортной установки. Данные математические зависимости могут использоваться для расчетов пневмотранспортных установок применимо к различным отраслям промышленности. Предложенные установки позволяют уменьшить запыленность рабочих мест, что в свою очередь уменьшает уровень профессиональных заболеваний и положительно сказывается на защите окружающей среды.

Ключевые слова: пневмотранспорт, математическая модель, сыпучая смесь, транспортирование, питатель.

BASIS OF CALCULATION OF A PNEUMATIC DEVICE (PD) FOR TRANSPORTING BULK MIXTURES

Afanasev A.I., Potapov V.Y., Kostyuk P.A.

Ural State Mining University, Yekaterinburg, e-mail: kostyukpetr@bk.ru

The paper deals with the basics of calculating pneumatic devices for the transportation of various bulk mixtures. An overview of pneumatic conveying systems. The authors formulated a mathematical model of this device. Mathematically proved the geometric parameters of the device and its main components are calculated. The scheme of the pneumatic chamber feeder installation and describes the principle of its action. This chamber feeder is protected by copyright certificates. Was glad experiments conducted to confirm the operation of all units the pneumatic installation. These mathematical relationships may be used for the calculation of pneumatic systems applicable to various industries. The proposed installation can reduce dust jobs, which in turn reduces the level of occupational disease and have a positive impact on the environment. References contains 5 items.

Keywords: pneumatic transport, mathematical model, loose mixture, transport, feeder

В настоящее время, ввиду увеличения энергозатрат на транспортировку материалов, создание экономически выгодных установок является актуальной задачей.

Таковыми системами, сочетающими в себе ряд положительных качеств, являются пневматические устройства. Они отличаются незначительной стоимостью из-за простоты конструкции, легкостью обслуживания, обладают большой маневренностью, позволяют транспортировать материалы во многих условиях (вагоны, бункера и т.д.) с незначительной потерей материала.

Транспортные трубопроводы могут быть проложены во многих местах с незначительной занимаемой площадью пространства.

Существенным недостатком пневмотранспортных установок является сравнительно большой расход энергии на единицу транспортного материала. Однако в целом ряде случаев при применении пневматического транспорта общие затраты будут меньше, чем при других видах транспортирования. Кроме того, очень часто пневматический способ транспортирования является

частью технологического процесса какого-либо производства, где он становится незаменимым (например, в пневмогазовых сушилах торфобрикетного производства или в пневмоуборочных машинах) [1].

Пневмотранспортная установка состоит из питающего устройства, трубопровода, отделителя и воздухоудвигной машины. Основным элементом ее является камерный питатель (рисунок), содержащий приемную камеру 1 с шарнирно смонтированной на ней крышкой 2. В приемную камеру 1 помещена гибкая (мягкая) емкость (тара) 3 с сыпучим материалом в закрытом состоянии. Разгрузочный трубопровод 4 смонтирован на крышке 2. Нагнетательный трубопровод 5 содержит патрубок 6 с нагнетательным соплом 7 с возможностью свободного перемещения вдоль него. Лезвие ножевого устройства 8 направлено вниз для разрезания верхней части гибкой тары 3. Для отвода излишка воздуха по воздуховоду 9 дно 10 приемной камеры 1 снабжено патрубком 11. Для удаления гибкой тары 3 из камерного питателя приемная камера 1 снабжена

диском 12 с юбкой 13. Установка диска 12 на определенном расстоянии от дна 10 камеры 1 обеспечивается винтовым устройством 14. Замкнутое пространство 15 приемной камеры 1 сообщается с разгрузочным трубопроводом 4 через вентиль 16 и с нагнетательным трубопроводом 5 посредством вентилей 17 воздуховода. Вентиль 18 транспортного трубопровода предназначен для перекрытия и подачи сжатого воздуха к нагнетательному соплу 7. Диск 12 имеет возможность свободного перемещения по вертикали до стопорного устройства 19. Диск 12 снабжен отверстием 20, перекрытым обратным клапаном 21 [2].

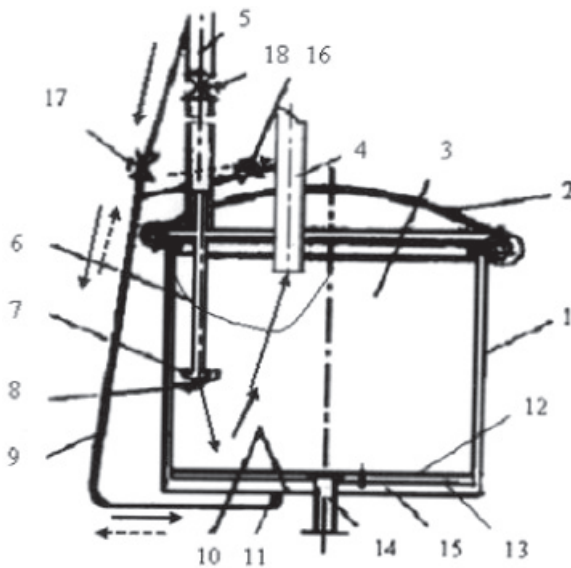


Схема камерного питателя
пневмотранспортной установки

Благодаря разности давлений, создаваемых воздушной машиной, в трубопроводе пневмосистемы возникает движение воздушного потока. Материал, предназначенный для транспортирования, с помощью питающего устройства вводится в пневмосистему, где он попадает в воздушный поток [1].

При пневмотранспортировании сыпучих материалов решающее значение имеет структура аэросмеси, характер которой определяется взаимодействием воздуха и материала.

Часто в таких устройствах для создания псевдооживления осуществляется продувка слоя частиц воздухом через пористую сетчатую перегородку. В результате прохода воздуха через слой материала, из-за разности давлений перед слоем P_1 и над ним P_2 , объем материала насыщается воздухом, и он начинает увеличиваться в объеме, оставаясь неподвижным, при этом частицы материала начинают отделяться друг от

друга. Частицы не покидают образовавшийся «псевдооживленный» слой, поскольку их вес уравнивается скоростным напором воздуха, т.е. его скорость равна скорости витания частиц $V_{\text{внт}}$. В данном состоянии перепад давления $\Delta P = P_1 - P_2 = \text{const}$ и не зависит от скорости потока воздуха $V_{\text{п}}$, которая будет равна критической скорости $V_{\text{кр}}$ «псевдооживления».

Критическая скорость $V_{\text{кр}}$ [м/с] аэросмеси

$$v_{\text{кр}} = c\sqrt{\mu a g d}, \quad (1)$$

где $c = 0,25-0,4$ – коэффициент, зависящий от крупности материала, склонности к слеживанию и наличию влаги; μ – весовая концентрация материала; $a = (\rho_{\text{м}} - \rho_{\text{в}})/\rho_{\text{в}}$; $\rho_{\text{м}}$ и $\rho_{\text{в}}$ – плотность соответственно материала и воздуха, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; d – диаметр пневмопровода, м.

Необходимая скорость $V_{\text{в}}$ [м/с] потока

$$v_{\text{в}} = (1,05-1,1)v_{\text{кр}}, \quad (2)$$

Сопротивление $P_{\text{п}}$ [Па] пневмопровода при движении аэросмеси

$$P_{\text{п}} = (1 + 0,4\mu)P_{\text{в}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{в}}$ – потеря давления при движении чистого воздуха, Па.

Потеря давления $\Delta P_{\text{г}}$ [Па] в поднимающихся коротких участках пневмопровода

$$\Delta P_{\text{г}} = (1 + \mu)\rho_{\text{в}}gH, \quad (4)$$

где H – разница геодезических отметок, м (высота подъема).

Полное падение давления ΔP [Па] в пневмотранспортной системе

$$\Delta P = P_{\text{п}} + \Delta P_{\text{г}} + \Delta P_{\text{дин}} + \Delta P_{\text{з}}, \quad (5)$$

где $\Delta P_{\text{дин}} = \frac{v_{\text{п}}^2 \rho_{\text{в}}}{2}$ – динамические потери давления, Па; $\Delta P_{\text{з}}$ – потери давления в разгрузочном устройстве, обычно $\Delta P_{\text{з}} = 1$ Па.

Расход Q_0 [м³/мин] воздуха

$$Q_0 = \frac{Q_{\text{м}} \rho_{\text{м}}}{\mu \rho_{\text{в}}}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{м}}$ – расход материала, транспортируемого по пневмопроводу, м³/мин.

Необходимая подача $Q_{\text{в}}$ [м³/мин] воздухоподающей машины

$$Q_{\text{в}} = kQ_0, \quad (7)$$

где $k = 1,1-1,15$ – коэффициент, учитывающий потери воздуха в пневмопроводе [3].

Расход и скорость воздуха влияют только на степень возрастания объема материала.

Транспортировка материала может начинаться при условии, когда $V_{\text{п}} > V_{\text{кр}}$ и станет равной скорости уноса $V_{\text{у}}$ [4].

Во многих работах [1, 3, 4] установлено, что скорость транспортирования материала зависит от скорости витания частиц.

Аналитически скорость витания частиц материала в потоке воздуха определяется из условия равенства силы сопротивления F , действующей на частицу, которая движется относительно потока воздуха, и силы тяжести G .

При числах Рейнольдса, характеризующих турбулентное обтекание частиц, имеет место квадратичный закон сопротивлений, т.е.

$$F = cS \frac{\rho_v v_v^2}{2}, \quad (8)$$

где c – коэффициент сопротивления при обтекании частиц потоком; S – площадь сечения частицы, перпендикулярного направлению потока, m^2 ; ρ_v – плотность воздуха, $kg \cdot s^2/m^4$.

Если тело имеет форму шара, то $G = \frac{\pi d^3}{6} \rho_m g$ и $S = \frac{\pi d^2}{4}$ тогда, подставляя значение S в формулу (8) и приравнявая F и G , получим формулу для определения скорости витания $v_{\text{вит}}$ [м/с]

$$v_v = v_{\text{вит}} = \sqrt{\frac{4gd\rho_m}{3C\rho_v}}, \quad (9)$$

где γ_T – объемный вес частиц материала.

Коэффициент сопротивления C зависит от многих факторов и определяется экспериментальным путем. Для частиц шаровой формы при $Re \leq 1$ коэффициент C может быть определен по уравнению

$$C = \frac{24}{Re}. \quad (10)$$

На практике значения для частиц различных материалов определяют непосредственно экспериментальным путем в аэродинамической (витательной) трубе [1].

Объем камерного питателя может быть оценен по формуле

$$\Omega_{\text{кп}} = \frac{G_m t_c}{u \rho_m}, \quad (11)$$

где G_m – транспортная производительность установки с камерным питателем, $m^3/ч$; t_c – среднее время для загрузки $1 m^3$ объема питателя материалом; u – количество питателей, работающих в цикле загрузки; ρ_m – плотность материала, kg/m^3 .

Представленные формулы могут быть использованы для расчета пневматических устройств для транспортирования сыпучих материалов.

Список литературы

1. Батаногов А.П. Подъемно-транспортное, хвостовое и ремонтное хозяйство обогатительных фабрик: учеб. для вузов. – М.: Недра, 1989. – 336 с.
2. Дорошенко В.А. Трубопроводный гидравлический и пневматический транспорт: учебное пособие / В.А. Дорошенко, Г. Г. Кожушко. – Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2014. – 194 с.
3. Патент № 2537368. Камерный питатель пневмотранспортной установки, 07.11.2014.
4. Солопов С.Г. Торфяные машины (теория, расчет и конструирование) / С.Г. Солопов, М.В. Мурашов, М.А. Миркин и др. – М.: государственное издательство «Высшая школа», 1962.
5. Урбан Я. Пневматический транспорт. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1967. – 256 с.

References

1. Batanogov A.P. Pod'emno-transportnoe, hvostovoe i remontnoe hozjajstvo obogatitelnyh fabrik: Ucheb. dlja vuzov. M.: Nedra, 1989. 336 p.
2. Doroshenko V.A. Truboprovodnyj gidravlicheskiy i pnevmaticheskij transport: uchebnoe posobie / V.A. Doroshenko, G.G. Kozhushko. Ekaterinburg: Izdatelstvo AMB, 2014. 194 p.
3. Patent no. 2537368. Kamernyj pitatel pnevmotransportnoj ustanovki, 07.11.2014.
4. Solopov S.G. Torfjanye mashiny (teorija, raschet i konstruirovanie) / S.G. Solopov, M.V. Murashov, M.A. Mirkin i dr. M.: gosudarstvennoe izdatelstvo «Vysshaja shkola», 1962.
5. Urban Ja. Pnevmaticheskij transport. M.: Izdatelstvo «Mashinostroenie», 1967. 256 p.

Рецензенты:

Шемякин В.С., д.т.н., профессор, закрытое акционерное общество «Научно-производственная компания «Техноген», г. Екатеринбург;

Неволин Д.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Проектирование и эксплуатация автомобилей», ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения». г. Екатеринбург.