

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ПНЕВМОТРАНСПОРТА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Гущин В.М., канд. тех. наук, доц.,

Донбасская государственная машиностроительная академия

*Исследована зависимость процесса истечения сыпучих материалов от величины избыточного давления в загрузочных устройствах аэрационного типа.*

*The dependence of the process of flowing of loose materials of air injection type in loading apparatus on the amount of excess pressure is shown.*

Экспериментальные исследования и опытно-промышленные испытания новых высокоэффективных способов пневматического транспортирования показали неприемлемость использования традиционных загрузочных устройств камерного и винтового типов, как не обеспечивающих достаточных объемов поступления сыпучих материалов в пневмотранспортный трубопровод [1]. На классификационной схеме (рис. 1), разработанной на основе [2, 3], в особую группу выделены аэрационные загрузочные устройства (питатели), разработанные в ДГМА. В основу разработки загрузочных устройств данной группы положено явление сверхтекучести, имеющее место при воздействии воздушных потоков и струй на сыпучий материал, эффекта вибрации или объединенного действия этих факторов.

Полная аэрация бункера загрузочного устройства, способствующая истечению сыпучих материалов, является трудноосуществимой. Представляется рациональным вдувание воздуха применить для местной аэрации сыпучего материала в зоне выпускного отверстия (рис. 2а) и, таким образом, интенсифицировать процесс истечения. В качестве отправной точки при изучении влияния вдуваемого воздуха на процесс истечения сыпучего материала из выпускного отверстия и его расход, т. е. количество сыпучего материала, поступающего из питателя в материалопровод, принимается уравнение общего баланса энергии.

Баланс энергии для входного сечения 1-1 и выходного 2-2 при к истечению сыпучего материала

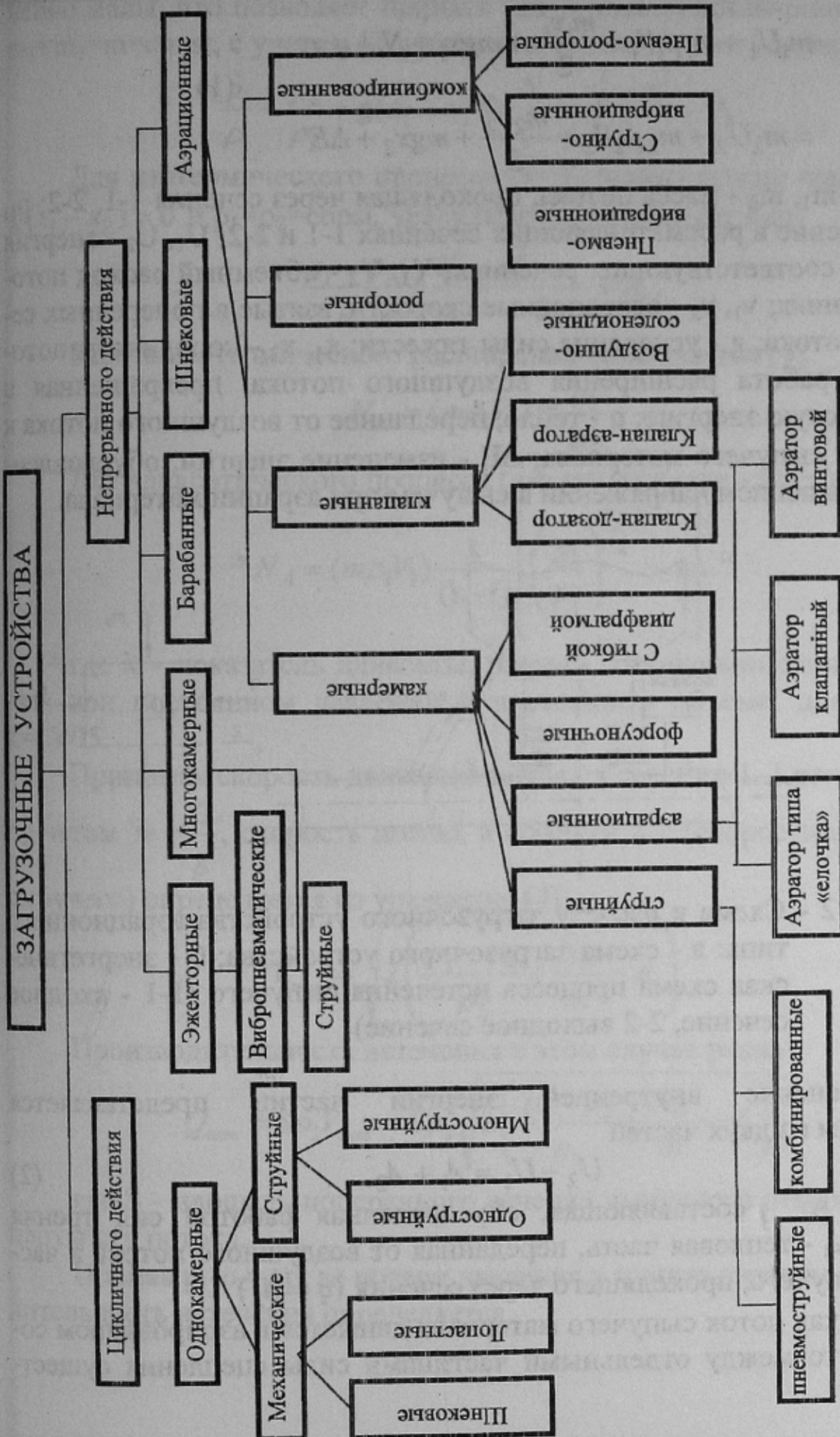


Рисунок 1-Классификация загрузочных устройств пневмотранспортных установок для сыпучих материалов

$$m_1 U_1 + m_1 p_1 V_1 + \frac{m_1 v_1^2}{2} + mgx_1 + N + q =$$

$$= m_2 U_2 + m_2 p_2 V_2 + \frac{m_2 v_2^2}{2} + mgx_2 + \Delta E \quad (1)$$

где  $m_1, m_2$  - масса потока, проходящая через сечения 1-1, 2-2;  $p_1, p_2$  - давление в рассматриваемых сечениях 1-1 и 2-2;  $U_1, U_2$  - энергия потока в соответствующих сечениях;  $V_1, V_2$  - объемный расход потока в сечениях;  $v_1, v_2$  - осредненные скорости, взятые в поперечных сечениях потока;  $g$  - ускорение силы тяжести;  $x_1, x_2$  - координаты потока;  $N$  - работа расширения воздушного потока, превращенная в кинетическую энергию;  $q$  - тепло, переданное от воздушного потока к частицам сыпучего материала;  $\Delta E$  - изменение энергии, обусловленное уменьшением напряжений в сыпучем при аэрации материала.

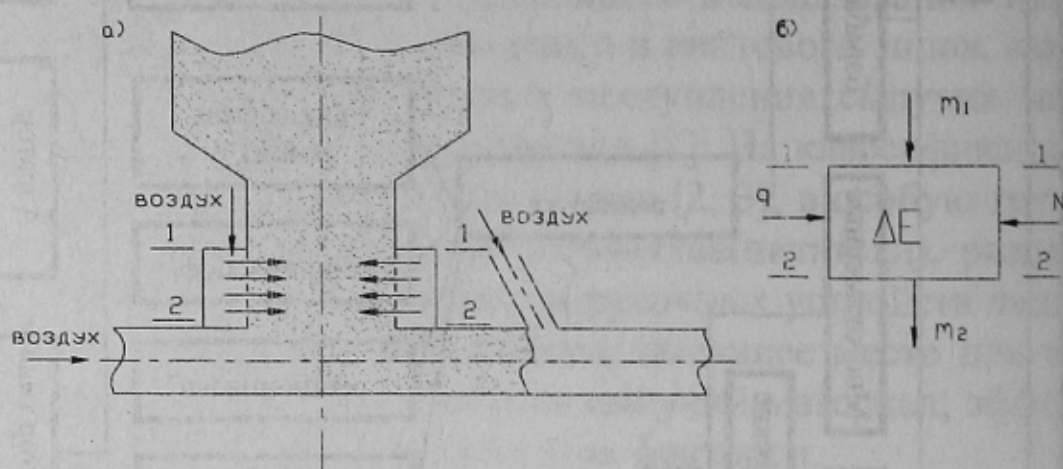


Рисунок 2 - Схема к расчету загрузочного устройства аэрационного типа: а - схема загрузочного устройства; б - энергетическая схема процесса истечения сыпучего (1-1 - входное сечение, 2-2 выходное сечение)

Изменение внутренней энергии частиц представляется состоящим из двух частей

$$U_2 - U_1 = A_1 + A_2, \quad (2)$$

где  $A_1$  - составляющая, обусловленная работой сил трения частиц;  $A_2$  - тепловая часть, переданная от воздушного потока к частицам сыпучего, проходящего через сечения ( $q = A_2$ ).

Так как поток сыпучего материала движется в аэрированном состоянии, то между отдельными частицами силы сцепления сущест-

венно малы, что позволяет принять  $\Delta E=0$ . Для стационарного потока  $m_1=m_2=m=\text{const}$ , с учетом (2) уравнение (1) может быть записано

$$\frac{p_1}{\rho_1} - \frac{p_2}{\rho_2} + g(x_1 - x_2) + \frac{N}{m} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + A_1. \quad (3)$$

Для изотермического процесса ( $T=T_0=\text{const}$ ) можно считать, что  $g(x_1 - x_2) = 0$  и  $\rho_1=\rho_2=\text{const}$ , уравнение (3) принимает вид

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho_2} + \frac{N}{m} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + A_1. \quad (4)$$

Работа изотермического расширения описывается [4]

$$N_{И} = (m\rho_1 V_1) \ln \frac{p_1}{p_2}. \quad (5)$$

Для адиабатического процесса (отсутствие потока тепла извне)

$$N_A = (m\rho_1 V_1) \frac{k}{(k-1)} \left[ \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right], \quad (6)$$

где  $k$  - показатель адиабаты, равный отношению теплоемкости газа при постоянном давлении и постоянном объеме; для воздуха  $k=1,405$ .

Принимая скорость движения потока в сечении 1-1 равной  $v_1=0$ , с учетом  $m = \frac{G}{g}$ , скорость потока в сечении 2-2 (скорость истечения сыпучего) определяется из уравнения (4)

$$V_{ист} = \sqrt{2 \left( \frac{p_1 - p_2}{\rho_2} + \frac{Ng}{m} - A_1 \right)}. \quad (7)$$

Производительность истечения в этом случае равна

$$Q_{ист} = S\rho_2 V_{ист} = S\rho_2 \sqrt{2 \left( \frac{p_1 - p_2}{\rho_2} + \frac{Ng}{m} - A_1 \right)}, \quad (8)$$

где  $S$  - площадь поперечного сечения выпуклого отверстия;  $\rho_2$  - плотность потока.

Приняв  $p_1 - p_2 = \Delta p_s$  за потери давления в пункте аэрации, производительность истечения определяется

$$Q_{уст} = 1,41 S \rho_2 \sqrt{2 \left( \frac{\Delta p_s}{\rho_2} + \frac{Ng}{m} - A_1 \right)}. \quad (9)$$

В данном случае  $\rho_2$  - плотность потока в аэрированном состоянии. Обозначив через коэффициент аэрации  $\frac{\rho_{аэр}}{\rho} = \Psi$ ,  $\rho_2 = \rho_{аэр}$ ;  $\rho_2 = \rho \Psi$ , где  $\rho$  - плотность сыпучего материала в целлке, и учитывая, что изотермическая работа расширения воздушного потока расходуется на преодоление сил трения частиц (т. е.  $\frac{Ng}{G} \cong A_1$ ), уравнение (9) принимает вид:

$$Q_{уст} = 1,41 S \rho \Psi \sqrt{\frac{\Delta p_s}{\rho \Psi}}. \quad (10)$$

Отсюда взаимосвязь между расходом при истечении сыпучего материала из бункера, т.е. производительностью загрузки трубопровода, размерами выпускного отверстия и величиной избыточного давления в зоне аэрации может быть представлена:

$$Q_{уст} / S = 1,41 \rho \Psi \sqrt{\frac{\Delta p_s}{\rho \Psi}}. \quad (11)$$

Графики изменения расхода сыпучих материалов в зависимости от величины избыточных давлений воздушного потока (рис. 3) для сыпучих материалов плотностью  $\rho_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$  (кривая 2), построенные по уравнению (11), показывают, что процесс истечения наиболее эффективно интенсифицируется при величинах избыточного давления в пределах  $\Delta p_s = 0,01 \dots 0,05 \text{ МПа}$ . Полученные данные хорошо согласуются с результатами экспериментальных исследований.

В загрузочных устройствах струйного типа передача энергии от одного потока к другому происходит путем их турбулентного смешивания. При течении ограниченной струи имеет место как продольное, так и поперечное изменение давления. Основные конструктивные параметры струйного питателя и его характеристики определяются из уравнения инъекции, связывающего между собой необходимый запас энергии движения рабочего газа, кратность инъекции, противодействие, геометрические размеры инжектора и физические свойства несущего потока и материала. Энергия, высвобождаемая

инжектирующим потоком в смесителе, при отсутствии вторичного подсоса газа по теореме импульсов [5] равна

$$P_3 - P_{1-1} = -\frac{m_1}{F_c} (\alpha_0 v_{1,3} - v_1) = \rho_1 (v_1 U_{13} - \alpha_0 v_{1,3}^2).$$

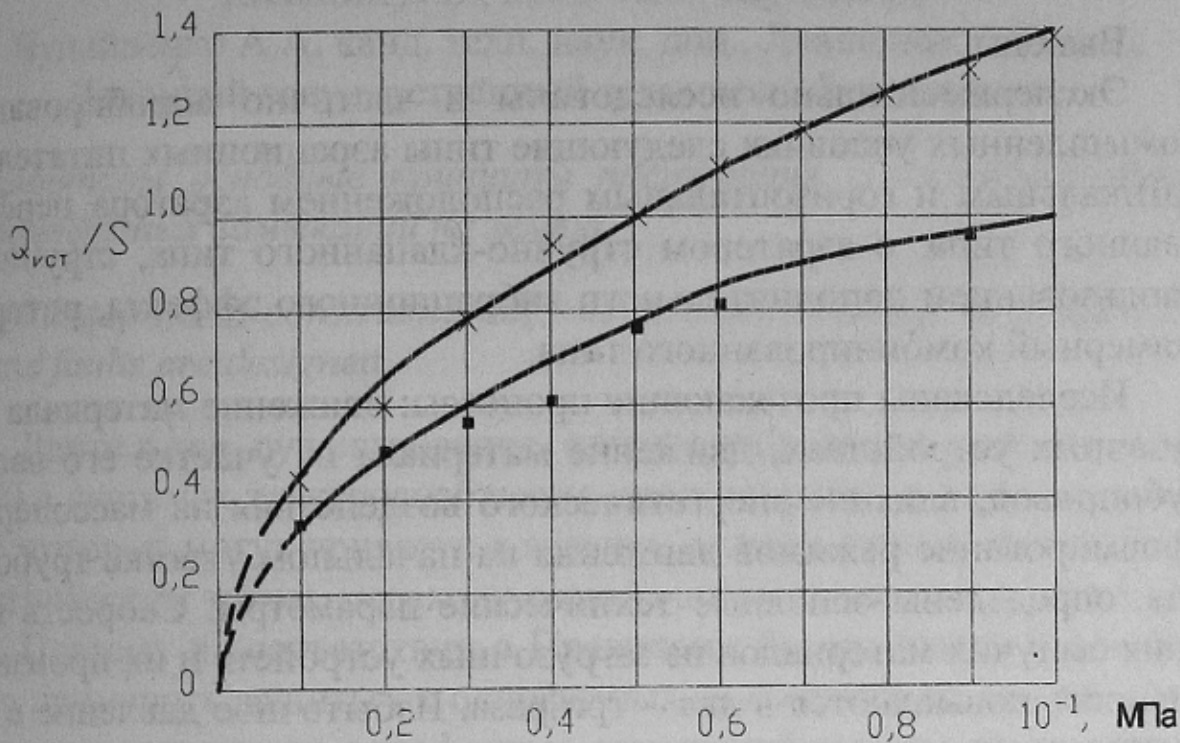


Рисунок 3 – Зависимость расхода сыпучего материала от величины избыточного давления  $\Delta p_s$  в зоне аэрации

Здесь  $v$  – среднерасходная скорость потока по соответствующим сечениям инжектора;  $F_c$  – площадь поперечного сечения смесительной камеры;  $P_3, P_{1-1}$  – давления в соответствующих сечениях;  $\alpha_0$  – коэффициент, учитывающий изменения скорости;  $\rho_1$  – плотность потока.

В загрузочных устройствах с дополнительным вибрационным воздействием условно принимается, что сыпучий материал поступает в загрузочное окно в виде аэрированных частиц, а скорость воздушного потока постоянна по высоте и поперечному сечению трубопровода. Частица неправильной формы условно заменяется эквивалентным шаром. Процесс ввода материалов в транспортный трубопровод представляется как перемещение тела переменной массы  $m(t)$  со скоростью  $v_0$ . Процесс движения материала при загрузке описывается с помощью уравнения движения тела переменной массы для рассматриваемого случая, имеющего вид:

$$m(t) \frac{d\bar{v}(t)}{dt} + [\bar{v}(t) - \bar{v}_0] \frac{dm}{dt} = \bar{F}_\Sigma,$$

где  $\bar{F}_\Sigma$  – равнодействующая внешних сил.

Выводы.

Экспериментально исследованы и частично апробированы в промышленных условиях следующие типы аэрационных питателей: с вертикальным и горизонтальным расположением аэратора перфорированного типа, с аэратором струйно-клапанного типа, струйный с использованием дополнительного вибрационного эффекта, роторный и камерный комбинированного типа.

Исследованы протекающие процессы: движение материала в загрузочных устройствах, движение материала на участке его ввода в трубопровод, влияние энергетического воздействия на массоперенос и формирование режимов движения на начальном участке трубопровода, определены основные технические параметры. Скорость истечения сыпучих материалов из загрузочных устройств и их производительность повышаются в два – три раза. Избыточное давление в зоне дополнительного поддува воздуха находится в пределах рабочих давлений в пневмотранспортном трубопроводе.

Экспериментальные исследования показали, что модель питателя комбинированного типа отличается более высокими техническими параметрами. Данные экспериментальных исследований свидетельствуют о хорошей работоспособности предложенных новых типов загрузочных устройств.

Список источников.

1. Потураев В.Н., Волошин А.И., Пономарев Б.В. Вибрационно-пневматическое транспортирование сыпучих материалов. -М.: Наук. думка, 1989. – 248 с.
2. Гуцин В.М. Разработка высокоэффективных пневмотранспортных установок для сыпучих материалов // Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века. Сб. научн. трудов. Вып. 6., т. 1. -Донецк, ДонГТУ, 1998. – С.227-230.
3. Гуцин В.М. Разработка новых типов загрузочных устройств для пневмотранспорта сыпучих материалов // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії: Зб. наук. пр. -Краматорськ, 1999. – С.325-330.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М: Наука, 1978. – 736 с.
5. Механика жидкости и газа: Учебник для вузов / Аверин С.И., Минаев А.Н., Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г. -М.: Металлургия, 1987. – 304 с.