

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГОРНОЙ ПОРОДЫ НА ПАРАМЕТР ВИБРОАЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ЕЕ ВИБРОПНЕВОТРАНСПОРТИРОВАНИИ

Приведені результати аналітичних досліджень впливу гранулометричного складу, зокрема форми та діаметру, часток гірської породи, що транспортується, на характеристики процесу вібропневмотранспортування. Отримана залежність параметра віброаеродинамічного тиску від геометричних параметрів гірської породи, що транспортується, та технологічних параметрів роботи вібропневмотранспортної системи.

ESTIMATION OF INFLUENCE OF GRAIN-SIZE DISTRIBUTION OF MOUNTAIN BREED ON PARAMETER OF VIBROAERODYNAMIC PRESSURE AT HER VIBRO-PNEUMATIC TRANSPORT

The brought results over of analytical researches of influence of grain-size distribution, in particular form and diameter, parts of mountain breed that is transported, on descriptions of process of vibro-pneumatic transport. The got dependence of parameter of vibroaerodynamic pressure is on the geometrical parameters of mountain breed that is transported, and technological parameters of work of the vibro-pneumatic transport system.

Виброаэродинамическое воздействие на пневмотранспортируемую горную массу является одним из самых прогрессивных направлений в развитии современной транспортной, в частности, пневмокладочной техники. Применение этого комплексного вида воздействия приводит к существенному снижению сил сопротивления транспортированию аэросмеси [1, 2, 3].

В общем случае процесс вибропневмотранспортирования определяется тремя взаимосвязанными основными факторами:

- свойствами транспортируемого твердого материала;
- параметрами подаваемо сжатого воздуха и режимом работы вибрационного рабочего органа;
- характеристиками перемещения твердого материала в поле действия виброаэродинамических сил.

В работах [1, 2] для оценки эффективности виброаэродинамического воздействия на перемещаемый сыпучий материал было введено понятие коэффициента снижения трения, который определяется по следующей формуле:

$$M_g(\Gamma) = 1 - \left\{ \varphi_n - \delta_0 + \frac{1}{2}(2\pi q + \delta_0 - \varphi_n)^2 r + \Gamma[\cos\varphi_n - \cos\delta_0 - (2\pi q + \delta_0 - \varphi_n)r\cos\varphi_n] \right\} / 2\pi q, \quad (1)$$

где $M_g(\Gamma)$ – коэффициента снижения трения при вибропневмотранспортировании; φ_n и δ_0 – фазовые углы падения и отрыва частицы транспортируемого материала; $\pi=3,14$; q – кратность периода движения частицы периоду коле-

баний рабочего органа вибропневмотранспортной системы; r – параметр виброаэродинамического давления; Γ – параметр вибрации.

В работах [3, 4] при рассмотрении процесса движения сыпучего материала (горной породы в закладочных пневмотранспортных машинах) было введено понятие обобщенного коэффициента сопротивления f . В общем случае при определении f необходимо учитывать фракционный состав загружаемого сыпучего материала, его вес, липкость и проницаемость, силу трения с поверхностью вибрационного рабочего органа и действующие виброаэродинамические силы. Поэтому, получить точное численное значение коэффициента f расчетным путем не представляется возможным и его, как правило, необходимо определять экспериментально для каждого конкретного случая. В то же время для инженерных расчетов коэффициент обобщенного сопротивления в вибропневмотранспортных системах вполне допустимо рассматривать как функцию параметра вибрации $M_g(\Gamma)$ и угла трения скольжения [1, 2]:

$$f = M_g(\Gamma) \operatorname{tg} \rho_f,$$

где f – обобщенный коэффициент сопротивления; $\rho_f = \operatorname{arctg} f_{mp}$ – угол трения скольжения; f_{mp} – коэффициент трения.

Таким образом, при рассмотрении сил сопротивления при вибропневмотранспортировании сыпучих материалов и, особенно, горной породы необходимо оценивать параметр $M_g(\Gamma)$. Данный параметр, в соответствии с равенством (1), является функцией многих переменных и, в частности, комплексного безразмерного виброаэродинамического параметра r . Для нахождения численного значения r в работе [2] была получена следующая зависимость:

$$r = \frac{3 c_\mu u_{cp} \rho_1}{8 a \omega \rho_2}, \quad (2)$$

где c_μ – коэффициент аэродинамического сопротивления; u_{cp} – осредненная скорость потока воздуха в загрузочной зоне (скорость обтекания); a – эквивалентный радиус; ω – частота вибрации; ρ_1 и ρ_2 – объемные плотности воздуха и транспортируемого материала.

При численном анализе значений параметра r в работах [1, 2] было показано, что значение r изменяется от нуля (при отсутствии воздушного потока $u_{cp} = 0$) до 0,01 – 0,5 в зависимости от частоты вибрации (ω) характеристик газа (ρ_1) и транспортируемого материала (c_μ , a и ρ_2). В частности, для транспортирования песка ($c_\mu=0,5$; $a=0,001$ м и $\rho_2=1500$ кг/м³) в режиме $\rho_1=5$ кг/м³; $u_{\Sigma, cp}=10$ м/с и $\omega = 60$ с⁻¹ было получено значение $r = 0,1$.

В то же время, при тех же условиях вибропневмотранспортирования для горной породы ($a = 0,04$ м и $\rho_2 = 2480$ кг/м³) в соответствии с приведенным выше алгоритмом расчета значение r будет равно 0,0016.

Таким образом, остается неизвестным характер изменения параметра виброаэродинамического давления как от влияния вибрационного и аэродинамического воздействия, так и более точное его значение при транспортировании горной породы.

Одной из отличительных особенностей при транспортировании горной породы является полидисперсность ее гранулометрического состава и форма частиц. При этом, при пневмотранспортировании полидисперсного материала существует переходной режим между фильтрацией и взвешиванием транспортируемого материала. На протяжении этого режима происходит взвешивание более крупных частиц материала по мере увеличения скорости воздушного потока. Для учета влияния полидисперсности на скорость взвешивания перемещаемого материала принято применять число полидисперсности θ , которое определяется как [5]

$$\theta = v_{\min} / v_{\max} = 0,347 \left(d_{\min} / d_{\max} \right)^2 \text{ – при ламинарном режиме;} \quad (3)$$

$$\theta = v_{\min} / v_{\max} = 0,590 \sqrt{d_{\min} / d_{\max}} \text{ – при турбулентном режиме,} \quad (4)$$

где θ – число полидисперсности; v_{\min} – скорость взвешивания наиболее мелких частиц, диаметром d_{\min} ; v_{\max} – скорость взвешивания наиболее крупных частиц, диаметром d_{\max} .

Зависимости (3) и (4) не могут полностью характеризовать фракционный состав транспортируемого полидисперсного материала, так как не учитывают содержание промежуточных фракций между d_{\min} и d_{\max} . Однако, для инженерных расчетов вполне допустимо применение метода осреднения между граничными размерами фракций твердой фазы.

Кроме этого, необходимо отметить, что форма транспортируемых частиц горной породы непосредственно определяет ее аэродинамическое сопротивление. Значение коэффициента аэродинамического сопротивления c_{μ} находится в достаточно широком диапазоне: от 0,5 для частиц шарообразной формы до 1,4 для частиц неправильной формы [6]. Такой размер варьирования значений этого коэффициента может существенно сказываться при расчете силы аэродинамического сопротивления. В связи с этим в работе [5] для определения c_{μ} была предложена следующая зависимость

$$c_{\mu} = 5,31 - 4,88\psi, \quad (5)$$

где ψ – коэффициент сферичности, под которым понимается отношение поверхности частицы эквивалентного шара, объем которого равен объему частицы несферической формы, к поверхности этой несферической частицы.

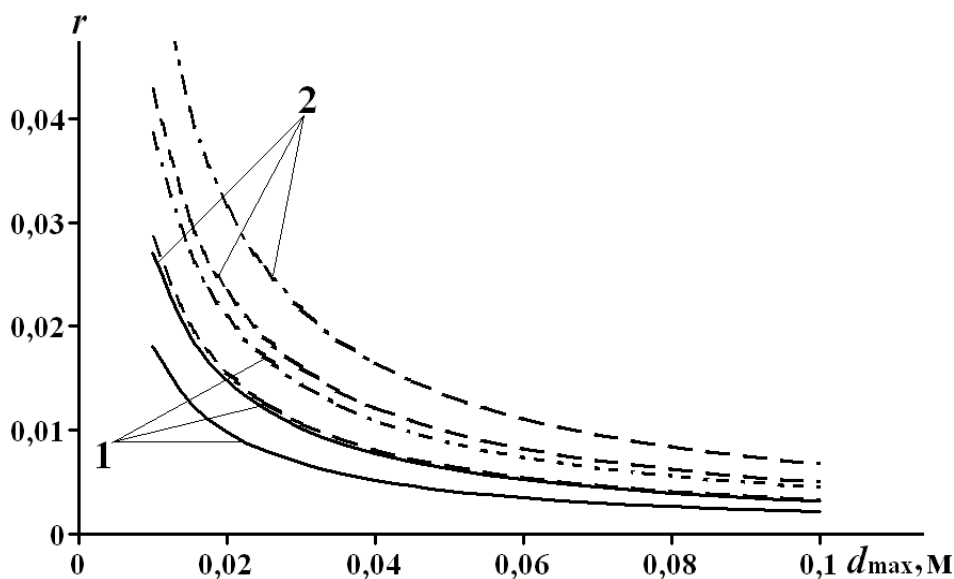
При этом, значение $\psi = 1$ соответствует шарообразным частицам горной породы и $\psi < 1$ частицам другой формы. Принимая во внимание то, что отношение поверхностей условно можно заменить квадратом отношения диаметров, с определенной степенью точности можно считать

$$\psi = (d_{\text{эк}} / d_{\text{пор}})^2, \quad (6)$$

где $d_{\text{эк}}$ – диаметр эквивалентного шара; $d_{\text{пор}}$ – максимальный диаметр частицы транспортируемой породы.

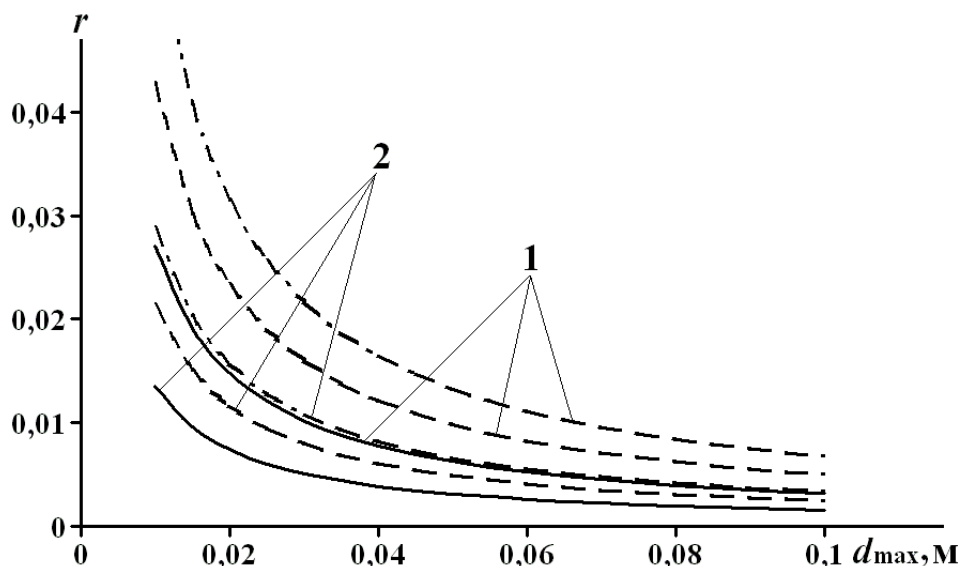
Согласно данным, приведенным в работе [7], объемная плотность всех видов пустых пород находится в диапазоне $2130 \text{ кг/м}^3 - 2800 \text{ кг/м}^3$, а среднее значение объемной плотности горной породы принимается 2480 кг/м^3 .

Используя равенство (2) и учитывая зависимости (3) – (6), можно построить графики зависимости параметра виброаэродинамического давления от максимального диаметра частиц транспортируемой горной породы, принимая ее плотность $\rho_2 = 2480 \text{ кг/м}^3$ (см. рис. 1 и рис. 2). Графики построены для плотности воздушного потока $\rho_1 = 5 \text{ кг/м}^3$, числа полидисперсности $10^{-4} < \theta < 10^{-2}$ (что соответствует наличию в горной породе пылевидных частиц) и $a = 2 d_{\text{эк}}$, который определяется из равенства (6). При этом, $d_{\text{пор}}$ рассчитывается как среднеарифметическое между d_{max} и d_{min} , а d_{min} находится в соответствии с равенствами (3) и (4).



Сплошные линии – для $\psi = 1$ (сферические частицы); пунктирные линии – для $\psi = 0,95$; штрихпунктирные линии – для $\psi = 0,9$ (1 – при $u_{cp} = 10 \text{ м/с}$; 2 – при $u_{cp} = 15 \text{ м/с}$)

Рис. 1 – Зависимость параметра виброаэродинамического давления от размера частиц транспортируемой горной породы для $\omega = 60 \text{ с}^{-1}$



Сплошные линии – для $\psi = 1$ (сферические частицы); пунктирные линии – для $\psi=0,95$; штрихпунктирные линии – для $\psi=0,9$ (1 – при $\omega = 40 \text{ с}^{-1}$; 2 – при $\omega = 80 \text{ с}^{-1}$)

Рис. 2 – Зависимость параметра виброаэродинамического давления от размера частиц транспортируемой горной породы для $u_{cp}=10 \text{ м/с}$

Как видно из рис. 1 и рис. 2 приведенная на них зависимость параметра виброаэродинамического давления от максимального диаметра частиц транспортируемой горной породы с коэффициентом аппроксимации 0,9996 имеет степенной характер:

$$r = K (d_{\max})^{-0,939},$$

где K – коэффициент, зависящий от формы частиц транспортируемой горной породы (ψ) и технологических параметров работы вибропневмотранспортной системы ($u_{\Sigma, cp}$ и ω).

Как показывает анализ графиков, приведенных на рис. 1 и рис. 2, значение коэффициента K находится в диапазоне от 0,0002 до 0,0008. При этом меньшее значение этого коэффициента соответствует перемещению частиц сферической формы при малых скоростях обтекания их воздушным потоком и наибольшей частотой колебания рабочего органа вибропневмотранспортной системы.

Виброаэродинамическое давление наиболее существенно сказывается при $d_{\max} \leq 0,08 \text{ м}$, значение параметра этого давления увеличивается с уменьшением коэффициента сферичности (см. рис. 1 и рис. 2) и уменьшается как с уменьшением скорости эжектируемого потока воздуха (рис. 1), так и с увеличением частоты колебаний рабочего органа вибропневмотранспортной установки (рис. 2).

Анализируя построенные выше графические зависимости, можно отметить, что отклонение формы частиц транспортируемой породы от сферической на 1 % влечет за собой увеличение значения параметра виброаэродинамического давления от 7 до 12 %.

Таким образом, при одних и тех же параметрах вибропневмотранспортной установки виброаэродинамическое давление для горной породы будет превосходить значение этого же давления для монодисперсной транспортируемой массы частиц, шарообразной формы.

Однако, как следует из равенства (1), для оценки влияния формы частиц и полидисперсности транспортируемой горной породы на коэффициент снижения трения $Mg(\Gamma)$ необходимы дополнительные исследования по установлению влияния этих факторов на остальные параметры, входящие в формулу (1).

Таким образом, результаты выполненных выше исследований позволили дополнить теорию вибропневмотранспортирования сыпучих материалов учетом влияния формы и размера частиц транспортируемого материала, а также технологических параметров вибропневмотранспортной системы на параметр виброаэродинамического давления. Полученные результаты позволяют более точно оценить эффективность совместного виброаэродинамического влияния на транспортирование горной породы, представляющую собой полидисперсную массу частиц произвольной формы и размеров, в пневмозакладочных системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потураев В.Н. Вибрационно-пневматическое транспортирование сыпучих материалов/ В.Н. Потураев, А.И. Волошин, Б.В. Пономарев. – Киев: Наук. Думка, 1989. – 245 с.
2. Волошин А.И. Механика пневмотранспортирования сыпучих материалов / А.И. Волошин, Б.В. Пономарев. – Киев: Наук. Думка, 2001. – 521 с.
3. Механика вибрационно-пневматических машин эжекторного типа / В.Н. Потураев, А.Ф. Булат, А.И. Волошин [и др.]. – Киев: Наукова думка, 2001. – 176 с.
4. Пономаренко С.Н. Определение параметров стабилизации движения закладочных материалов в вибропневмотранспортных машинах с кольцевым эжектором / С.Н. Пономаренко// Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов: / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.–Днепропетровск, 2010.– Вып.91.– С.226–231.
5. Разумов И.М. Псевдооживление и пневматический транспорт сыпучих материалов / И.М. Разумов – М.: Химия, 1964. – 160 с.
6. Ярмоленко Г.З. Пневматические турбины и струйные аппараты горных машин / Г.З. Ярмоленко. – М.: Недра, 1977.– 117 с.
7. Шашенко А.Н. Геомеханические процессы в породных массивах / А.Н. Шашенко, Т. Майхерчик, Е.А. Сдвижкова. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2005. –319 с.

Академик НАН Украины А.Ф. Булат,
канд.техн.наук Л.Т. Холявченко,
инженеры С.Л. Давыдов, С.В. Демченко
(ИГТМ НАН Украины)
инж.А.А. Максакова,
(НПО «Доникс»)

КОНТРОЛИРУЕМЫЕ АТМОСФЕРЫ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ПЛАЗМЕННОЙ ГАЗИФИКАЦИЕЙ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СРЕД, В ТОМ ЧИСЛЕ ШАХТНЫХ МЕТАНО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

В роботі приведені результати моделювання процесу плазмової газифікації мінеральних середовищ, що містять в собі вуглець, для отримання захисних контрольованих атмосфер, які застосовуються для захисту об'єктів, в тому числі із металів, від впливу кисню навколишнього середовища при термічній дії на ці об'єкти. Доведена доцільність використання такої переробки.

THE CONTROLLABLE ATMOSPHERE OBTAINED BY PLASMA GASIFICATION OF CARBONIC MEDIA INCLUDING MINE METHANE-AIR MIXTURE

The paper presented the results of simulation of plasma gasification of the carbonic media to obtain protective controllable atmosphere, which are used to protect facilities, including a metal from exposure to oxygen environment during heat action on these items. The expediency of such processing is proofed.

Контролируемая атмосфера - газ, исключаящий контакт с кислородом окружающей среды объектов, в том числе из металлов, подвергающихся температурному воздействию и обеспечивающий наилучшие условия для их получения, переработки, использования или хранения. Различают бескислородные защитные газы и газы с ограниченным содержанием O_2 . При защите металлов при их термической обработке содержание O_2 в защитных газах может составлять 0,001% и ниже, содержание других компонентов определяется конкретными условиями технологии обработки. В защитном газе, используемом в противопожарных целях, присутствие O_2 допустимо до 5%, а в газах, предназначенных для хранения пищевых продуктов, его содержание может находиться в пределах от 2 до 15% [1].

Контролируемые атмосферы могут быть восстановительными, нейтральными (защитными), науглероживающими или обезуглероживающими. Их выбирают в зависимости от требований, предъявляемых к поверхности металла, а также от температуры и длительности термического воздействия, стоимости защитного газа и установок для его получения [2].

Самый распространенный метод получения контролируемой атмосферы - сжигание или газификация углеводородного топлива при различных соотношениях его компонентов. При коэффициенте избытка окислителя, меньше стехиометрическому ($a < 1$) (при газификации), производят бескислородный защитный газ, при $a > 1$ (сгорание) газ с ограниченным содержанием O_2 . Пламен-