

УДК 622.648

С.Н. Пономаренко, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

**ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОСМЕСИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПАРАМЕТРЫ ПНЕВОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ЗАКЛАДОЧНЫМИ
УСТАНОВКАМИ ЭЖЕКТОРНОГО ТИПА**

С.М. Пономаренко, канд. техн. наук, ст. наук співр.
(ИГТМ НАН України)

**ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК АЕРОСУМІШІ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ
ПАРАМЕТРИ ПНЕВОТРАНСПОРТУВАННЯ ЗАКЛАДАЛЬНИМИ
ПРИСТРОЯМИ ЕЖЕКТОРНОГО ТИПУ**

S.N. Ponomarenko, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

**INFLUENCE OF THE AERO MIXTURE CHARACTERISTICS ON
TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF PNEUMATIC TRANSPORTATION
STOWING SETTINGS THE EJECTOR TYPE**

Аннотация. Статья направлена на изложение результатов получения новых зависимостей в методах расчета параметров пневмотранспортирования горной породы закладочными установками эжекторного типа.

В теоретической части исследования основное внимание уделялось особенностям взаимодействия потоков аэросмеси в зоне смешения кольцевого эжектора. Получены зависимости основных технологических параметров пневмотранспортирования от характеристик аэросмеси для установок эжекторного типа. Приведены результаты исследований влияния характеристик горной породы на технологические параметры ее пневмотранспортирования закладочными установками с кольцевым эжектором.

В статье предложен новый метод описания движения аэросмеси в пневматических закладочных установках с кольцевым эжектором. Метод основан на применении трех коэффициентов: интегрального коэффициента сопротивления, коэффициентов рассеивания энергии потока сжатого воздуха и степени расширения этого потока. Полученные результаты могут быть применены при расчете и проектировании пневматических закладочных установок с кольцевым эжектором для технологий горного производства.

Ключевые слова: аэросмесь, горная порода, эжектор, пневмотранспорт.

Основной проблемой, сдерживающей широкое промышленное применение трубопроводных пневмотранспортных систем, является значительный удельный расход воздуха, который необходим для обеспечения требуемых производительности и дальности транспортирования. В связи с этим возникает необходимость более досконального исследования взаимосвязи основных технических и технологических параметров пневмотранспортирования. В первую очередь это относится к характеристикам транспортируемого материала, параметрам подаваемого сжатого воздуха и конструктивным параметрам пневмотранспортной установки.

К основным технологическим параметрам трубопроводных пневмотранспортных установок относятся дальность транспортирования, удельный расход воздуха на перемещение единицы массы или объема транспортируемого материала, а также скорость движения аэросмеси. В качестве характеристик аэросмеси, транспортируемой трубопроводными пневматическими установками, принято рассматривать основные параметры воздушной фазы (плотность и скорость) и твердой фазы аэросмеси (плотность, максимальный диаметр частицы и ее сферичность, а также скорость транспортирования).

Анализ последних достижений в области трубопроводного пневмотранспорта насыпных грузов показывает, что пневмотранспортные установки эжекторного типа могут успешно применяться для транспортирования различного рода сыпучих материалов. Эти установки позволяют эффективно решать различные технологические задачи во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства. На горнодобывающих предприятиях закладочные установки эжекторного типа применяются при ведении горных работ с закладкой породой выработанного пространства шахт [1 – 3].

Существующие методы расчета пневмотранспортных установок сориентированы в основном на исследования перемещения аэросмеси по транспортному трубопроводу заданной длины без учета особенностей подачи в трубопровод сжатого воздуха. Наиболее полно вопросы пневмотранспортирования сыпучих материалов рассмотрены в работах Гастерштадта И.А., Урбана Я.Б., Смолдырева А.Е., Клячко Л.С., Tsuji Y., Волошина А.И., Пономарева Б.В.. Однако процесс пневмотранспортирования горной породы закладочными установками эжекторного типа имеет свои характерные особенности, которые требуют отдельного подхода к их рассмотрению. Специфика этого процесса, прежде всего, заключается в следующем [2, 4]:

- в наличии эжектируемого из атмосферы потока аэросмеси, состоящей из атмосферного воздуха и загружаемой в установку породы;
- в присутствии в начале транспортного трубопровода (в зоне смешивания эжекторного устройства) трех фаз аэросмеси: эжектирующего потока сжатого воздуха и эжектируемых потоков воздуха и частиц твердого материала;
- в неоднородности фракционного состава пневмотранспортируемой твердой фазы.

Увеличение дальности пневмотранспортирования оборудованием данного типа при сохранении остальных параметров пневмотранспортирования приводит к прекращению процесса эжектирования и образованию обратного потока аэросмеси. Данное обстоятельство обусловлено увеличением общего гидравлического сопротивления транспортного трубопровода. Это увеличение связано как с увеличением длины става транспортного трубопровода, так и с увеличением количества находящегося в нем количества аэросмеси. Максимально возможная дальность пневмотранспортирования эжекторными установками горной породы определяется по формуле [1]:

$$L_{mp} = \frac{D_{mp}}{f_{\Sigma}} \left\{ 2 \frac{p_0 - p_L}{\rho_{\Sigma} u_{c,cp}^2} \left[\frac{\rho_{\Sigma} S_{mp}}{\rho_c S_c} (1 - \alpha_{mp}) \right]^{2/3} - \zeta \right\}, \quad (1)$$

где L_{mp} – максимально возможная дальность пневмотранспортирования, м; D_{mp} – диаметр транспортного трубопровода, м; f_{Σ} – интегральный коэффициент сопротивления движению аэросмеси; p_0 и p_L – соответственно полные давления воздуха в начале и на конце транспортного трубопровода, Па; ρ_{Σ} и ρ_c – соответственно плотности смешанного и эжектирующего потоков воздуха, кг/м³; $u_{c,cp}$ – средняя скорость эжектирующего потока воздуха на выходе из эжектора, м/с; S_{mp} и S_c – соответственно площади проходных сечений транспортного трубопровода и соплового устройства эжектора, м²; α_{mp} – коэффициент заполнения транспортируемым материалом проходного сечения транспортного трубопровода; ζ – коэффициент местных сопротивлений.

При условии прекращения эжектирования воздуха из атмосферы на основании закона сохранения массы справедливо равенство

$$\rho_{\Sigma} S_{mp} (1 - \alpha_{mp}) u_{\Sigma,cp} = \rho_c S_c u_{c,cp},$$

где $u_{\Sigma,cp}$ – осредненная по площади скорость воздушного потока в начале транспортного трубопровода, м/с.

С учетом этого соотношение (1) может быть представлено в виде

$$L_{mp} = \frac{D_{mp}}{f_{\Sigma}} \left[2 \frac{p_0 - p_L}{\rho_{\Sigma} u_{c,cp}^2} \left(\frac{u_{c,cp}}{u_{\Sigma,cp}} \right)^{2/3} - \zeta \right] = \frac{D_{mp}}{f_{\Sigma}} \left[2 \frac{p_0 - p_L}{\rho_{\Sigma}} \frac{1 - \chi^{4/3}}{u_{\Sigma,cp}^2} - \zeta \right], \quad (2)$$

где $\chi = 1 - u_{\Sigma,cp} / u_{c,cp}$ – коэффициент рассеивания энергии эжектирующего потока сжатого воздуха.

При выполнении предварительных расчетов закладочных установок с центральным сопловым устройством Ярмоленко Г.З. на основании выполненных исследований струйных аппаратов было рекомендовано принимать теоретическое значение $\chi = 0,67$. Однако в физической картине взаимодействия эжектирующего и эжектируемого потоков газа в эжекторах центрального (внешнее эжектирование) и кольцевого (внутреннее эжектирование) типов существуют достаточно существенные различия. Прежде всего, в установках с кольцевым эжектором отсутствуют потери скорости эжектирующего потока, связанные с гидравлическим ударом воздушного потока о стенки транспортного трубопровода [2, 4]. Поэтому численное значение этого коэффициента для закладочных установок с кольцевым эжектором может находиться в диапазоне от 0,05 до 0,3

и зависит от конструктивных характеристик эжектора и характера его стыковки с транспортным трубопроводом [4].

Для обеспечения устойчивого режима пневмотранспортирования горной породы во взвешенном состоянии скорость воздуха в транспортном трубопроводе должна удовлетворять условию, приведенному в работе Зенкова Р.Л., Ивашкова И.И. и Колобова Л.Н., выполненной на рубеже прошлого столетия и посвященной машинам непрерывного транспорта:

$$u_{\Sigma, cp} \geq c \sqrt{\mu_m g D_{mp} \frac{\rho_m - \rho_{\Sigma}}{\rho_{\Sigma}}}, \quad (3)$$

где c – опытный коэффициент, принимаемый при пневмотранспортировании горной породы 0,2 – 0,35; μ_m – массовая концентрация аэросмеси; g – ускорение свободного падения, м/с²; ρ_m – насыпная плотность транспортируемой породы, кг/м³.

Принимая в условии (3) знак равенства, соотношение (2) можно записать в виде

$$L_{mp} = \frac{D_{mp}}{f_{\Sigma}} \left[2 \frac{p_0 - p_L}{c^2 \mu_m g D_{mp}} \frac{1 - \chi^{4/3}}{\rho_m - \rho_{\Sigma}} - \zeta \right]. \quad (4)$$

Входящий в равенство (4) интегральный коэффициент сопротивления движению аэросмеси определяется как [1]:

$$f_{\Sigma} = \lambda + \xi_{cp} \varphi^2 \mu_m, \quad (5)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления при движении по транспортному трубопроводу чистого воздуха без примеси твердых частиц; ξ_{cp} – среднее значение коэффициента аэродинамического сопротивления пневмотранспортируемой породы; φ – коэффициент относительной скорости движения породы по транспортному трубопроводу.

Значение коэффициента гидравлического сопротивления λ определяется по общепринятым эмпирическим зависимостям и приведено в различной справочной литературе. С достаточной для инженерных расчетов в теории пневмотранспортирования точностью для определения коэффициента λ предлагается эмпирическая зависимость, полученная в ИГТМ НАН Украины с использованием данных, приведенных в работе по машинам непрерывного транспорта:

$$\lambda = -0,04D_{mp} + 0,022, \quad (6)$$

Значение коэффициента аэродинамического сопротивления ξ_{cp} находится в очень широком диапазоне: от 0,5 для частиц шарообразной формы до 1,4 для

частиц неправильной формы, как отмечено в работе Ярмоленко Г.З. по струйным аппаратам. Численное значение этого коэффициента может быть определено по зависимости, приведенной в работе Разумова И.М. по псевдоожигению и пневматическому транспорту сыпучих материалов:

$$\xi_{cp} = 5,31 - 4,88\psi, \quad (7)$$

где ψ – коэффициент сферичности, принимаемый для пневмотранспортирования горной породы $0,8 \leq \psi \leq 1$ ($\psi = 1$ соответствует частицам породы шарообразной формы).

По результатам многолетних исследований, приведенным в работах Смолдырева А.Е. по трубопроводному транспорту, коэффициент относительной скорости φ движения твердого материала по транспортному трубопроводу пневмотранспортной установки находится в диапазоне от 0,02 до 0,12.

С учетом равенств (5) – (7) уравнение (4) примет вид

$$L_{mp} = \left[2 \frac{p_0 - p_L}{c^2 \mu_m g} \frac{1 - \chi^{4/3}}{\rho_m - \rho_\Sigma} - \zeta D_{mp} \right] / \left[0,022 - 0,04 D_{mp} + \mu_m (5,31 - 4,81\psi) \varphi^2 \right]. \quad (8)$$

Согласно принятому в теории пневмотранспортирования сыпучих материалов трубопроводными системами положению значение диаметра транспортного трубопровода D_{mp} должно быть в 2,5 – 3 раза больше d_{max} , где d_{max} – максимальный размер частиц транспортируемой породы, м. В качестве d_{max} принимается максимальный линейный размер транспортируемой породы, замеряемый по трем взаимно перпендикулярным направлениям максимального куска породы. Диаметр транспортного трубопровода необходимо выбирать из действующего сортамента труб.

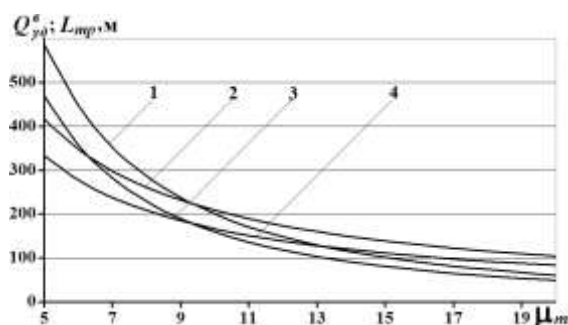
Значения различных местных сопротивлений ζ приведены в справочной литературе и зависят от числа и характера соединений соседних секций транспортного трубопровода. При фланцевом соединении секций транспортного трубопровода коэффициент местных сопротивлений находится в интервале $0,01 \leq \zeta \leq 0,05$ [1].

Массовая концентрация аэросмеси и удельный объемный расход воздуха на транспортирование 1 м^3 породы связаны между собой соотношением

$$\mu_m = \rho_m / \rho_\Sigma Q_{уд}^e, \quad (9)$$

где Q_{yd}^6 – удельный объемный расход воздуха на пневмотранспортирование по трубопроводу 1 м^3 породы.

На рис. 1 представлены расчетные зависимости удельного объемного расхода воздуха и дальности пневмотранспортирования горной породы от концентрации аэросмеси в транспортном трубопроводе пневмотранспортной установки с кольцевым эжектором. Этот вид пневмотранспортного оборудования в течение длительного периода времени разрабатывается ИГТМ НАН Украины для реализации на горнодобывающих предприятиях технологий ведения горных работ с закладкой выработанного пространства вмещающими породами [1].



1 и 4 – соответственно дальность пневмотранспортирования (L_{mp}) и удельный расход воздуха (Q_{yd}^6) для $\rho_m = 2,0 \text{ т/м}^3$; 2 и 3 – соответственно удельный расход воздуха (Q_{yd}^6) и дальность пневмотранспортирования (L_{mp}) для $\rho_m = 2,5 \text{ т/м}^3$

Рисунок 1 – Зависимость дальности пневмотранспортирования горной породы и удельного расхода воздуха от концентрации аэросмеси в транспортном трубопроводе закладочной установки с кольцевым эжектором

Представленные на рис. 1 расчетные зависимости построены с использованием равенств (8) и (9) при следующих значениях применяемых параметров: $c = 0,35$; $\rho_{\Sigma} = 1,2 \text{ кг/м}^3$; $p_0 = 0,25 \text{ МПа}$; $p_L = 0,101 \text{ МПа}$; $\psi = 0,9$; $\chi = 0,3$; $\varphi = 0,05$; $\zeta = 0,05$. Значение диаметра транспортного трубопровода принято $D_{mp} = 0,2 \text{ м}$, что соответствует максимальному размеру частиц транспортируемой породы $d_{max} = 0,08 \text{ м}$.

Как следует из анализа представленных на рис.1 зависимостей, в диапазоне плотности горной породы от $2,0$ до $2,5 \text{ т/м}^3$ при пневмотранспортировании породы с максимальным размером куска 80 мм и обеспечении давления сжатого воздуха в кольцевом эжекторе закладочной установки $0,25 \text{ МПа}$ справедливы следующие закономерности:

- рациональное значение массовой концентрации аэросмеси (по удельному расходу сжатого воздуха) находится в диапазоне от 15 до 20 ;
- дальность транспортирования для этих значений концентрации аэросмеси составляет от 60 до 120 м , а удельные расходы воздуха составят от 120 до 80 м^3 на 1 м^3 транспортируемой породы.

Анализ зависимостей (8) и (9) показывает, что дальность пневмотранспортирования горной породы закладочными установками с кольцевым эжектором увеличивается:

- при увеличении на 0,1 МПа давления, подводимого к установке сжатого воздуха, – до 70 %;
- при уменьшении до 10 % рассеивания энергии эжектирующего потока сжатого воздуха – от 5 до 10 %;
- при уменьшении до 10 % коэффициента относительной скорости движения аэросмеси – от 10 до 20 %.

Из анализа зависимостей дальности пневмотранспортирования горной породы от концентрации аэросмеси в транспортном трубопроводе закладочной установки с кольцевым эжектором (зависимости 1 и 3 на рис. 1) следует, что в диапазоне значений $15 \leq \mu_m \leq 20$ эти зависимости носят степенной характер: $L_{mp} = a(\mu_m)^b$. При этом величина достоверности аппроксимации равна 1, а коэффициенты аппроксимации уравнений a и b зависят как от вида транспортируемого материала, так и от конструктивных и технологических параметров работы установки.

К основным технологическим параметрам работы закладочных установок эжекторного типа относится также скорость движения аэросмеси. Пневмотранспортирование горной породы во взвешенном состоянии при ведении закладочных работ позволяет минимизировать степень износа стенок транспортного трубопровода, уменьшить гидравлические потери на поворотных участках и повысить плотность возводимого закладочного массива.

Скорости воздушной и твердой фаз транспортируемой аэросмеси связаны между собой упомянутым выше коэффициентом относительной скорости движения аэросмеси:

$$\varphi = u_{в,ср} - v_{т,ср} / u_{в,ср} ,$$

где $u_{в,ср}$ и $v_{т,ср}$ – соответственно осредненные по площади транспортного трубопровода скорости движения воздушной и твердой фазы аэросмеси.

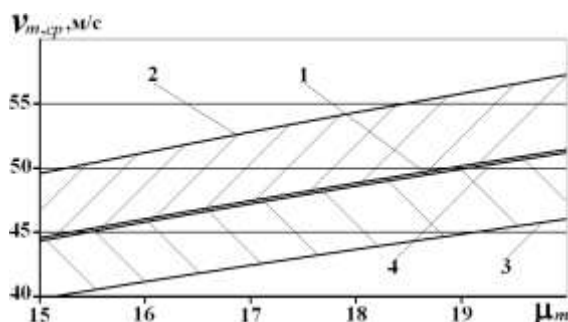
Из последнего равенства следует $v_{т,ср} = u_{в,ср} (1 - \varphi)$, где осредненное значение скорости воздушной фазы $u_{в,ср}$ аэросмеси в транспортном трубопроводе закладочной установки эжекторного типа после смешивания эжектирующего и эжектируемого потоков определяется по формуле, приведенной в вышеупомянутой работе Яроменко Г.З.

$$u_{в,ср} = 0,5u_{\Sigma,ср} \sqrt{0,15 + 0,85 / (1 - \chi)} .$$

Принимая в неравенстве (3) для определения скорости смешивающего потока воздуха знак равенства, для определения скорости движения твердой фазы аэросмеси получим следующее соотношение

$$v_{m,cp} = 0,5 \sqrt{1 - \varphi} \cdot c \sqrt{\mu_m g D_{mp} (\rho_m - \rho_\Sigma) \left[0,15 + 0,85 / (1 - \chi) \right] / \rho_\Sigma}. \quad (10)$$

На рис. 2 представлены расчетные зависимости скоростей пневмотранспортирования горной породы от концентрации аэросмеси $15 \leq \mu_m \leq 20$, построенные с использованием равенства (10) для выше приведенных значений параметров c , D_{mp} , ρ_Σ и χ . Значения насыпной плотности породы при выполнении расчетов принималось от $2,0 \text{ т/м}^3$ до $2,5 \text{ т/м}^3$, а значение коэффициента относительной скорости движения аэросмеси – в диапазоне от 0,02 до 0,12.



1 и 2 – соответственно скорости пневмотранспортирования горной породы для ρ_m , равной $2,0$ и $2,5 \text{ т/м}^3$, при $\varphi = 0,02$; 3 и 4 – соответственно скорости пневмотранспортирования горной породы для ρ_m , равной $2,0$ и $2,5 \text{ т/м}^3$, при $\varphi = 0,12$

Рисунок 2 – Зависимость скорости пневмотранспортирования горной породы от концентрации аэросмеси в транспортном трубопроводе закладочной установки с кольцевым эжектором

Как следует из результатов расчета, представленных на рис. 2, скорость движения по транспортному трубопроводу закладочной установки с кольцевым эжектором частиц горной породы с максимальным размером $d_{max} = 0,08 \text{ м}$ в диапазоне рациональных значений массовой концентрации $15 \leq \mu_m \leq 20$ может составлять от 38 до 58 м/с. Величина этой скорости зависит от концентрации аэросмеси и режима транспортирования, характеризуемого коэффициентом φ . Учитывая неоднородность состава транспортируемой породы, с достаточной для инженерных расчетов точностью, можно утверждать, что диапазон скоростей пневмотранспортирования породы установками данного типа составляет от 45 до 50 м/с.

Полученные расчетные значения технологических параметров закладочных установок с кольцевым эжектором полностью соответствуют экспериментальным данным, приведенным в работах [1, 3].

Еще одним технологическим параметром закладочной пневматической установки эжекторного типа, учитывая специфику данного вида оборудования, является суммарный коэффициент эжекции аэросмеси. Этот коэффициент, в общем случае определяется как

$$n_\Sigma = n_g + n_m, \quad (11)$$

где $n_э$, $n_г$ и n_m – соответственно коэффициенты эжекции аэросмеси, атмосферного воздуха и транспортируемого материала.

С учетом того, что

$$n_г = G_{г,a} / G_{г,c}; \quad n_m = G_m / G_{г,c},$$

где $G_{г,a}$, $G_{г,c}$ и G_m – соответственно массовые расходы эжектируемого, эжектирующего потока воздуха и транспортируемого материала (производительность установки), равенство (11) можно записать в виде:

$$n_э = G_{г,a} + G_m / G_{г,c}. \quad (12)$$

Принимая во внимание то, что $G_{г,a} = G_г - G_{г,c}$, где $G_г$ – массовый расход воздуха в транспортном трубопроводе, равенство (12) будет иметь вид:

$$n_э = \frac{G_г + G_m}{G_{г,c}} - 1 = \frac{G_г}{G_{г,c}} (1 + \mu_m) - 1 = \frac{\rho_\Sigma S_{mp} (1 - \alpha_{mp}) u_{\Sigma,cp}}{\rho_c S_c u_{c,cp}} (1 + \mu_m) - 1,$$

где $\mu_m = G_m / G_г$ – массовая расходная концентрация аэросмеси в транспортном трубопроводе.

Учитывая вышеприведенное обозначение для коэффициента рассеивания энергии эжектирующего потока воздуха, последнее равенство примет вид:

$$n_э = w (1 + \mu_m) (1 - \chi) (1 - \alpha_{mp}) s - 1, \quad (13)$$

где $w = \rho_\Sigma / \rho_c$ – отношение плотностей воздушных потоков; $s = S_{mp} / S_c$ – отношение площадей транспортного трубопровода и выходного сечения эжекторного устройства.

Коэффициент заполнения транспортируемым материалом проходного сечения транспортного трубопровода закладочных пневматических установок с кольцевым эжектором, как было показано в работе [1], находится в диапазоне $0,14 \leq \alpha_{mp} \leq 0,16$. В инженерных расчетах, с достаточной для них точностью, значение этого коэффициента принимается постоянным и численно равным $\alpha_{mp} = 0,15$.

Как показывает анализ равенства (13) коэффициент эжекции с увеличением концентрации аэросмеси в транспортном трубопроводе пневматической установки эжекторного типа увеличивается при:

- увеличении степени расширения эжектирующего потока воздуха $w \rightarrow 1$ (увеличении скорости истечения и уменьшении статического давления);
- уменьшении рассеивания энергии эжектирующего потока воздуха $\chi \rightarrow 0$;
- увеличении соотношения площадей транспортного трубопровода и выходного сечения эжекторного устройства.

Научная новизна приведенного выше метода описания движения аэросмеси в пневматических закладочных установках с кольцевым эжектором заключается в использовании в расчетных зависимостях:

– интегрального коэффициента сопротивления движению аэросмеси, учитывающего как характеристики самой аэросмеси, так и режим ее перемещения по транспортному трубопроводу;

– коэффициента рассеивания энергии потока сжатого воздуха, зависящего от конструктивных особенностей эжекторного устройства пневмотранспортной установки;

– степени расширения эжектирующего потока воздуха, характеризующего конструктивные особенности зоны смешения эжекторного устройства в начале транспортного трубопровода.

Полученные в данной работе зависимости основных технологических параметров пневмотранспортирования горной породы закладочными установками эжекторного типа от концентрации аэросмеси и анализ этих зависимостей позволяют оценить перспективные области применения данного вида оборудования в технологиях горного производства с закладкой вмещающими породами выработанного пространства шахт. Результаты выполненных исследований дополняют существующие методы расчета пневмотранспортных трубопроводных систем в плане учета физических особенностей транспортируемого твердого материала и специфики работы пневмотранспортного оборудования эжекторного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Механика вибрационно-пневматических машин эжекторного типа / В.Н. Потураев, А.Ф. Булат, А.И. Волошин [и др.]. – Киев: Наукова думка, 2001. – 176 с.
2. Волошин А.И. Использование эжекторных закладочных машин в технологиях горного производства / А.И. Волошин, А.И. Коваль, С.Н. Пономаренко // Уголь Украины. – 2011, № 4. – С.40 – 44.
3. Волошин А.И. Механика пневмотранспортирования сыпучих материалов / А.И. Волошин, Б.В. Пономарев. – Киев: Наукова думка, 2001. – 521 с.
4. Пономаренко С.Н. Определение потерь энергии на смешивание потоков воздуха в транспортном трубопроводе вибропневмотранспортных машин / С.Н. Пономаренко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр./ ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2012.– Вып.101.– С.193–198.

REFERENCES

1. Poturayev, V.N., Bulat, A.F., Voloshin, A.I., Ponomarenko, S.N. and Voloshin, A.A. (2001), *Mekhanika vibratsionno-pnevmaticheskikh mashin ezhektornogo tipa* [Mechanics vibration-pneumatic machine the ejector type], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
2. Voloshin, A.I., Koval A.I. and Ponomarenko, S.N. (2011), "Prospects of the use of the ducted stowing machines in technologies of mining production", *Coal of Ukraine*, vol. 4, pp. 40 – 44.
3. Voloshin, A.I. and Ponomaryev, B.V. (2001), *Mekhanikai pnevmotransportirowaniya sypuchikh materialov* [Mechanics the pneumatic transport of bulk materials], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
4. Ponomarenko, S.N. (2012), " Determination of losses of energy on mixing of blasts in a transport pipeline of vibro-pneumonic-transport machines", *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Tecnicl Mechanics, no.101, pp. 193–198.

Об авторе

Пономаренко Сергей Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник в отделе вибропневмотранспортных систем и комплексов, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, ponomarenko@ua.fm

About the author

Ponomarenko Sergei Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher of department of vibropneumatic Transport Systems and Complexes, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, ponomarenko@ua.fm

Анотація. Стаття спрямована на викладення результатів отримання нових залежностей в методах розрахунку параметрів пневмотранспортування гірської породи закладальними пристроями ежекторного типу.

В теоретичній частині дослідження основна увага приділялась особливостям взаємодії потоків аеросуміші в зоні змішання кільцевого ежектора. Отримано залежності основних технологічних параметрів пневмотранспортування від характеристик аеросуміші для пристроїв ежекторного типу. Наведено результати досліджень впливу характеристик гірської породи на технологічні параметри її пневмотранспортування закладальними пристроями з кільцевим ежектором.

В статті запропонований новий метод опису руху аеросуміші в пневматичних закладальних пристроях з кільцевим ежектором. Метод заснований на застосуванні трьох коефіцієнтів: інтегрального коефіцієнту опору, коефіцієнтів розсіювання енергії потоку стисненого повітря та ступеня розширення цього потоку. Отримані результати можуть бути застосовані при розрахунку та проектуванні пневматичних закладальних пристроїв з кільцевим ежектором для технологій гірничого виробництва.

Ключові слова: аеросуміш, гірська порода, ежектор, пневмотранспорт.

Abstract. The paper presents new dependencies in calculations of parameters for the rock pneumatic transporting by stowage plants of the ejector type.

Theoretical part of the study focused on peculiar interactions between the air mixture flows in mixing zone of the annular ejector. Dependencies of basic technological parameters of pneumatic transport on characteristics of the air mixture are stated for the plants of ejector type. Findings on impact of the rock properties on technological parameters of the rock pneumatic transporting by stowage plants with annular ejectors are presented.

The article also presents a new method for describing the air mixture flowing in the pneumatic stowage plant with annular ejector. The method is based on the use of three factors: integral coefficient of resistance, coefficient of energy dissipation in compressed air flow and degree of this flow expansion. The findings can be used for calculating and designing pneumatic stowage plants with annular ejector for different mining technologies.

Keywords: air mixture, rocks, ejector, pneumatic transport.

Стаття поступила в редакцію 10.02. 2013

Рекомендовано к публикации чл.-кор. НАН Украины Волошиным А.И.

УДК [622. 742-752:621.926:621.3. 06]+622.794

Е.С. Лапшин, д-р техн. наук, вед. науч. сотр.,
А.И. Шевченко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ПО КРУПНОСТИ
И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕСКОВ
НОВЫМ СПОСОБОМ ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОЧЕНИЯ**

Є.С. Лапшин, д-р техн. наук, пров. наук. співр.,
О.І. Шевченко, канд. техн. наук, ст. наук. співр.
(ІГТМ НАН України)

**РЕЗУЛЬТАТИ РОЗДІЛЕННЯ ЗА КРУПНІСТЮ
І ЗНЕВОДНЮВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПІСКІВ
НОВИМ СПОСОБОМ ВІБРАЦІЙНОГО ГРОХОЧЕННЯ**

Ye.S. Lapshin, D.Sc. (Tech.), Principal Researcher,
A.I. Shevchenko, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

**RESULTS OF DIVISION ON LARGENESS
AND DEHYDRATIONS OF BUILDING SANDS
BY NEW METHOD OF VIBRATING CLASSIFICATION**

Аннотация. Статья направлена на разработку новых методов разделения по крупности и обезвоживания строительных песков при вибрационном грохочении. Определены условия повышения интенсификации этих процессов.

В статье предложен новый способ виброударного грохочения, который позволяет интенсифицировать разрыхление песка, и за счет этого повышать эффективность разделения по крупности и обезвоживания. Исследовано влияние на технологические показатели удельной нагрузки по питанию и времени грохочения.

Предлагаемый новый способ виброударного грохочения особенно полезен при переработке минерального сырья широкого спектра крупности, когда необходимо отделить тонкие классы (как правило, некондиционный продукт) и максимально обезводить готовый (надрешетный) продукт.

Полученные результаты будут использованы при разработке математической модели процесса разделения по крупности и обезвоживания минерального сырья, а также при создании нового виброударного грохота.

Ключевые слова: вибрационное грохочение, виброударный режим, разделение по крупности, обезвоживание, строительные пески.

При переработке строительных песков для получения из исходного сырья продукта, пригодного для приготовления качественных строительных смесей, необходимо удалить пыль и глинистые включения – частицы размером менее 0,14 мм (регламентировано ГОСТ 8736-77 "Требования к продукции. Зерновой состав песка") [1]. Как известно, наличие пыли и глины при приготовлении смесей бесполезно увеличивает количество связующих, что значительно повышает себестоимость готовой продукции.