

Д-р техн. наук А.И. Волошин, инж. О.В. Рябцев,  
инж. С.Ю. Процак, инж. А.А. Волошин  
(ИГТМ НАН Украины)

### **ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ ЗАКЛАДНОЕ УСТРОЙСТВО (ПЗУ)**

В статті означені задачі вуглевидобувної галузі України в частині постійного зростання об'ємів породи. Показано актуальність використання технологій, які дозволяють залишати породу в виробленому просторі шахт. На прикладі шахт Західного Донбасу показано актуальність створення пневмозакладальної техніки, яка дозволяє без ускладнення технологічного ланцюжка на видобувній дільниці використовувати породу для викладання буткових смуг. Приведено технічну характеристику та конструктивні особливості створеного пристрою. Показано переваги використання розробленої техніки.

### **THE PNEUMATIC LOADING DEVICE (PLD)**

In the article problems of branch of Ukraine are designated which extracts coal, in a part of constant growth of volume of breed. Necessity of use of technologies, allowing leaving breed in produced open space of mines, is shown. On an example of mines Western Donbass necessity of creation of pneumatic loading engineering, allowing without complexities of a technological chain on a site to use breed for the calculation breeding of strips, is shown. A characteristics and design feature of the created devices is resulted. Advantages of use of developed engineering are shown.

Подземные горные работы неизбежно вызывают изменения в окружающей среде, которые характеризуются [1]:

- подработкой земной поверхности в результате очистных работ;
- отсыпкой породных отвалов, устройством прудов-отстойников и хвостохранилищ;
- отчуждением земельных участков.

При ведении подземных горных работ, наряду с углём на земную поверхность будет выдаваться пустая порода. Она по-прежнему будет поступать в отвалы и терриконы от проведения и ремонта горных выработок, выделяться в виде отходов обогащения. Всего в результате функционирования шахт и обогатительных фабрик на территории угледобывающих регионов Украины накоплено около 4 млрд. т. породы, которые сосредоточены в более чем 1200 породных отвалах и терриконах [2]. Кроме того, весьма сложно размещать экологически приемлемым способом и часть отходов сжигания угля на электростанциях и котельных установках.

Эти соображения неизбежно приводят к выводу о необходимости захоронения отходов горного и энергетического производства в шахтах. Технология очистных работ должна быть увязана с полной или частичной закладкой выработанного пространства. Такая технология позволяет решать не только проблему захоронения отходов горнопромышленного производства, но и, в существенной мере, эффективно управлять горным давлением, снизить опасность самовозгорания угля, внезапных выбросов угля и газа, горных ударов, уменьшить газовыделение и водопритоки в горные выработки, повысить полноту извлечения угля, снизить его разубоживание, улучшить условия труда горнорабочих и уровень их безопасности. При закладке выработанного пространства уменьша-

ется величина деформации земной поверхности, изменяется и сам характер деформаций: процесс протекает более плавно, наблюдается меньше неровностей сдвижения.

Большое разнообразие горно-геологических и горнотехнических условий подземной разработки обуславливает наличие различных технологий закладки выработанного пространства.

Специфика отработки маломощных пластов Западного Донбасса (мощность менее 1 м) требует присечки боковых пород в очистном забое. Присекаются, как правило, породы кровли и затем, перемешиваясь с углём, выдаются в виде горной массы. Таким образом, зольность добываемого угля увеличивается до 40 %, а иногда и больше. Это обстоятельство существенно сказывается на качестве и, соответственно, стоимости товарной продукции. Для шахт ГП «Павлоградуголь» увеличение зольности свыше нормативной на 1 % ведёт к снижению товарной стоимости угля на 2,5 %.

Поэтому решение задачи по возможности отделения потока породы, полученной в результате селективной выемки в лаве, от потока угля являются весьма актуальными. Одним из наиболее перспективных путей решения данного вопроса является использование полученной породы для выкладки бутовой полосы высокой плотности, которая кроме оставления породы будет выполнять функции охранной конструкции, обеспечивая охрану и поддержание откаточного штрека.

Однако существующая на сегодняшний день техника для ведения закладочных работ в силу ряда причин технического и технологического характера не может обеспечить решение указанной задачи без существенного усложнения операций проходческого цикла на откаточном штреке. Поэтому возникла, необходимость создания закладочного агрегата, который бы имел компактные габаритные размеры и массу и в тоже время имел, достаточно высокую производительность и легко укомплектовывался дополнительной оснасткой.

Специалистами ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины совместно с НИЦ «Экология-Геос» было разработано пневматическое закладочное устройство (ПЗУ), которое отвечает всем выше перечисленным требованиям. Техническая характеристика ПЗУ представлена в табл.1.

Расчёт основных технических и конструктивных параметров ПЗУ производился по методике [3]. Задаемся следующими начальными условиями: производительность ПЗУ  $Q_n = 40 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; длина транспортирования  $L_{mp} = 30 \text{ м}$ ; диаметр транспортного трубопровода  $D_{mp} = 0,2 \text{ м}$ ; условия транспортирования  $\sigma = 0,2$  и  $\varphi = 0,85$ ,  $n = 0,1$ ,  $\alpha = 0$ ; диаметр воздухоподающего трубопровода  $D_{noz} = 0,1 \text{ м}$ ; давление на входе в загрузочный лоток  $p = 0,1 \text{ МПа}$ ; температура  $T = 290 \text{ К}$ ; средняя плотность транспортируемого материала  $\rho = 2200 \text{ кг/м}^3$ ; средняя скорость транспортирования на загрузочном лотке  $V_{cp} = 1 \text{ м/с}$ . При инженерном расчете ПЗУ определяем:

- массовый секундный расход транспортируемого материала

$$Q_m = \rho Q_n = 2200 \frac{40}{3600} = 24,45 \text{ кг/с};$$

Таблица 1 - Техническая характеристика ПЗУ

№ п.п	Показатели назначения	Размерность	Величина	Примечания
1	Производительность	м <sup>3</sup> /ч	40	ожидаемая
2	Дальность транспортирования	м	60	ожидаемая
3	Расход сжатого воздуха	м <sup>3</sup> /мин	50	
4	Давление воздуха, не менее	МПа	0,3	
5	Размер куска транспортируемого материала, не более		80	
6	Габаритные размеры			
	Длина	м	0,45	
	Высота	м	0,235	
7	Масса	кг	35	

- площадь проходного сечения транспортного трубопровода

$$S_{mp} = \frac{\pi D_{mp}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} = 0,0314 \text{ м}^2;$$

- скорость перемещения сыпучего материала по трубопроводу

$$V_m = \frac{Q_n}{S_{mp} \sigma} = \frac{40}{3600 \cdot 0,0314 \cdot 0,2} = 1,77 \text{ м/с};$$

- скорость воздуха на выходе из транспортного трубопровода

$$V_a = \frac{V_m}{1 - \varphi} = \frac{1,77}{1 - 0,85} = 11,8 \text{ м/с};$$

- массовая концентрация аэросмеси на выходе из транспортного трубопровода

$$\mu = \frac{Q_m RT}{p V_m \rho_{mp} (1 - \sigma)} = \frac{24,45 \cdot 287,14 \cdot 290}{0,1 \cdot 10^6 \cdot 1,77 \cdot 0,0314 (1 - 0,2)} = 458;$$

- критерии Фруда и Рейнольдса

$$Fr = \frac{V_m^2}{g D_{mp}} = \frac{1,77^2}{9,81 \cdot 0,2} = 1,6;$$

$$\text{Re} = \frac{V_{\epsilon} D_{mp}}{\nu} = \frac{11,8 \cdot 0,2}{15 \cdot 10^{-6}} = 157333;$$

- коэффициент сопротивления движению аэросмеси

$$\lambda = \frac{0,87}{F_r \sqrt[3]{\text{Re}}} \left( \mu \frac{\rho_{\epsilon}}{\rho} \right)^{0,63} = \frac{0,87}{1,6 \sqrt[3]{157333}} \left( 458 = \frac{1,287}{2200} \right)^{0,63} = 0,0044;$$

- основные параметры установки в начале транспортного трубопровода после смещения эжектируемого и эжектирующего потоков

$$V_{3-3} = \frac{Q_n^v}{S_{mp} \sigma (1-\varphi)} = \frac{40}{3600 \cdot 0,0314 \cdot 0,2 (1-0,85)} = 11,79 \text{ м/с};$$

$$p_{3-3} = \frac{p}{1 - \frac{\lambda}{2RT} V_{3-3}^2 \frac{L_{mp}}{D_{mp}}} = \frac{0,1}{1 - \frac{0,0044}{2 \cdot 287,14 \cdot 290} \cdot 11,79 \frac{30}{0,2}} = 0,100055 \text{ МПа};$$

$$\rho_{3-3} = \frac{p_{3-3}}{RT} = \frac{0,10005 \cdot 10^6}{287,14 \cdot 290} = 1,202 \text{ кг/м}^3;$$

$$Q_{3-3} = \sigma_{3-3} S_{mp} (1-\sigma) = 11,79 \cdot 0,0314 (1-0,2) = 20 \text{ м}^3/\text{мин};$$

$$Q_m^{3-3} = \rho_{3-3} Q_{3-3} = 1,202 \frac{20}{60} = 0,4 \text{ кг/с};$$

- скорость воздуха в зоне загрузки

$$V_{2-2} = \frac{p_{3-3}}{p} \frac{n}{1+n} V_{3-3} = \frac{0,100055}{0,1} \frac{0,1}{1+0,1} \cdot 11,79 = 1,07 \text{ м/с};$$

- параметры сжатого воздуха в эжекторном устройстве

$$Q_m^{\circ} = \frac{Q_m^{3-3}}{1+n} = \frac{0,4}{1+0,1} = 0,36 \text{ кг/с};$$

$$V_{\circ} = \sqrt{\frac{(1+n)V_{3-3}^2 - V_{2-2}^2}{n}} = \sqrt{\frac{(1+0,1) \cdot 11,79^2 - 1,07^2}{0,1}} = 39 \text{ м/с};$$

$$p_{\circ} = \frac{1}{\Psi} (\cos \alpha (\rho_{\epsilon} V_{\epsilon} (1-\sigma)) \left( V_m \frac{Q_m}{\rho_{\epsilon} V_{\epsilon} (1-\sigma) S_{mp}} + V_{3-3} - \right.$$

$$\begin{aligned}
& - \frac{Q_m}{\rho_{\epsilon} V_{\epsilon} (1-\sigma) S_{mp}} \cdot V_{cp} \cos \varphi - \frac{n}{n+1} V_m - \frac{S_{\alpha} \cos \alpha}{n+1} \left. \right) + p_{3-3} + \\
& + p^2 \left( 1 - \frac{\Psi}{103\alpha} \right) = \frac{1}{0,248} \left( 1 \cdot (1,287 \cdot 11,8(1-0,2)(1,77 \cdot \right. \\
& \left. \frac{24,45}{1,287 \cdot 11,8(1-0,2)0,0314} + 11,79 - \frac{24,45}{1,287 \cdot 11,8(1-0,2)0,0314} \cdot \right. \\
& \left. \left. 1 - \frac{0,1}{1+0,1} 1,77 - \frac{39}{0,1+1} \right) \right) + 1,00055 + 0,1(1-0,248) = 0,1076 \text{ МПа};
\end{aligned}$$

$$\rho_{\alpha} = \frac{\rho_{\alpha}}{RT} = \frac{0,1076 \cdot 10^6}{287,14 \cdot 290} = 1,29 \text{ кг/м}^3;$$

$$Q_{\alpha} = \frac{Q_m}{\rho_{\alpha}} = \frac{0,36}{1,29} \cdot 60 = 116,75 \text{ м}^3 / \text{мин};$$

- конструктивные основные параметры

$$D_{np} = \sqrt{\frac{4Q_m}{\pi \rho V_{cp}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 24,45}{3,14 \cdot 22001}} = 0,12 \text{ м};$$

$$h = \frac{D_{mp}}{2} - \sqrt{\left( \frac{D_{mp}}{2} \right)^2 - \frac{S_c}{\pi}} = \frac{0,2}{2} - \sqrt{\left( \frac{0,2}{2} \right)^2 - \frac{0,007777}{3,14}} = 0,013 \text{ м};$$

- основные технологические параметры работы ПЗУ, определяемые параметрами воздуха в подающей пневмомагистрали:

$$Q_{nod} = \frac{1-\sigma}{\sigma(1+n)(1-\varphi)} Q_n = \frac{1-0,2}{0,2(1+0,1)(1-0,85)} \cdot 40 / 60 = 18 \text{ м}^3 / \text{мин};$$

$$P_{nod} = \frac{0,267}{\pi D_n^2} \frac{V_{3-3}(1-\sigma) \cdot S_{mp}}{1+n} p_{3-3} = \frac{0,267}{3,14 \cdot 0,1^2} \frac{11,79(1-0,2)0,0314}{1+0,1} \cdot 0,100055 = 0,23 \text{ МПа};$$

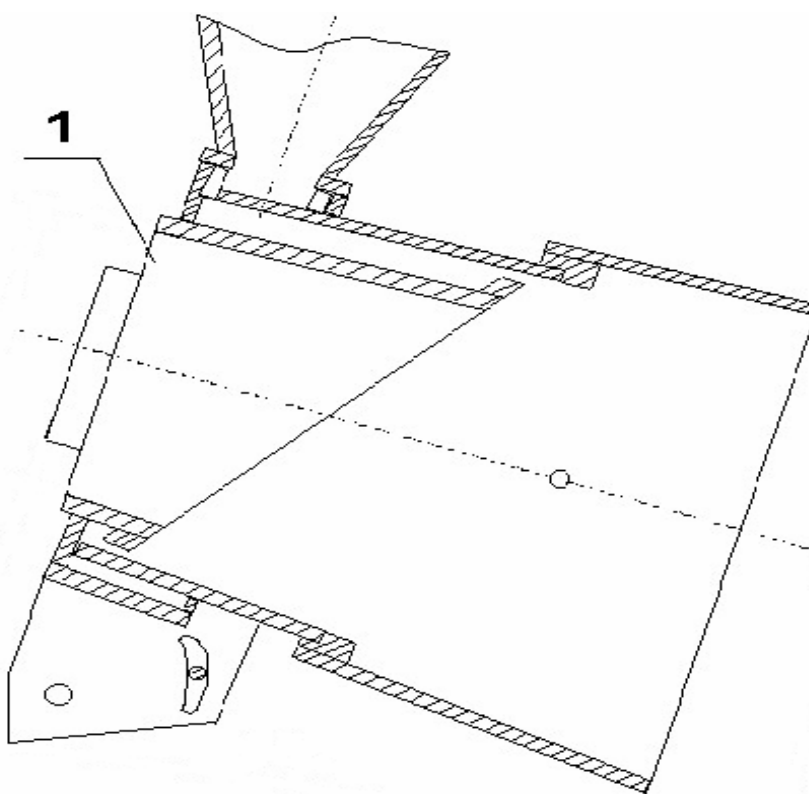
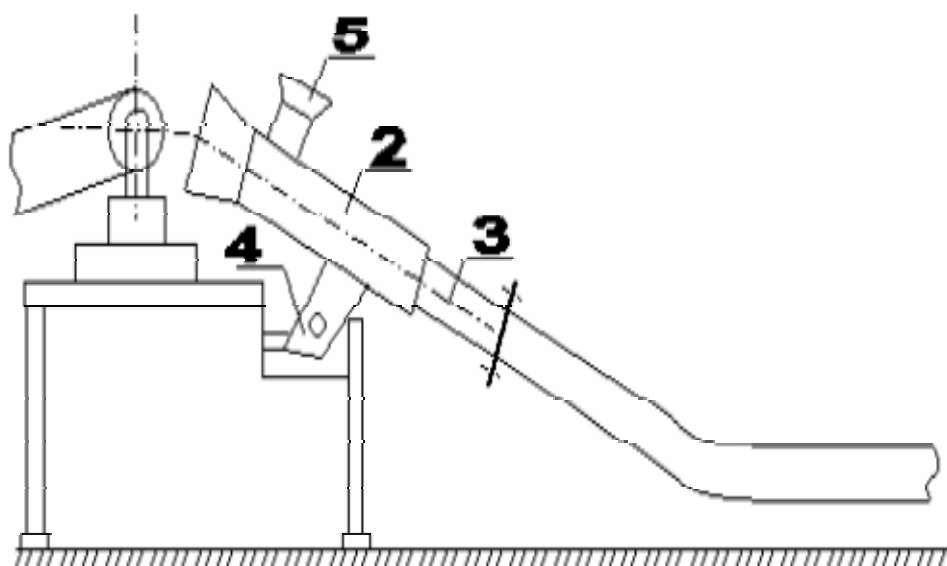
$$\rho_{nod} = \frac{P_{nod}}{RT} = \frac{0,23 \cdot 10^6}{287,14 \cdot 290} = 2,76 \text{ кг/м}^3;$$

$$Q_m^{nod} = \rho_{nod} Q_{nod} = \frac{2,76 \cdot 18}{60} = 0,83 \text{ кг/с}.$$

Таким образом, для транспортирования сыпучего материала плотностью 2200 кг/м<sup>3</sup> на расстояние 30 м по трубопроводу диаметром 0,2 м с производительностью 40 м<sup>3</sup>/ч с концентрацией 0,2 необходимо обеспечить подачу сжато-

го воздуха  $18 \text{ м}^3/\text{мин}$  с давлением  $0,23 \text{ МПа}$ . При этом диаметр загрузочной воронки должен составлять  $0,12 \text{ м}$ , а ширина кольцевой щели эжекторного устройства  $0,013 \text{ м}$ .

Помимо компактных габаритных размеров и прочих технических достоинств, ПЗУ отличает ещё простота конструкции (см. рис. 1, 2).



1-эжектор; 2-корпус; 3-переходник; 4-ребро; 5-воздухоприёмник

Рис. 1 – Принципиальная схема ПЗУ

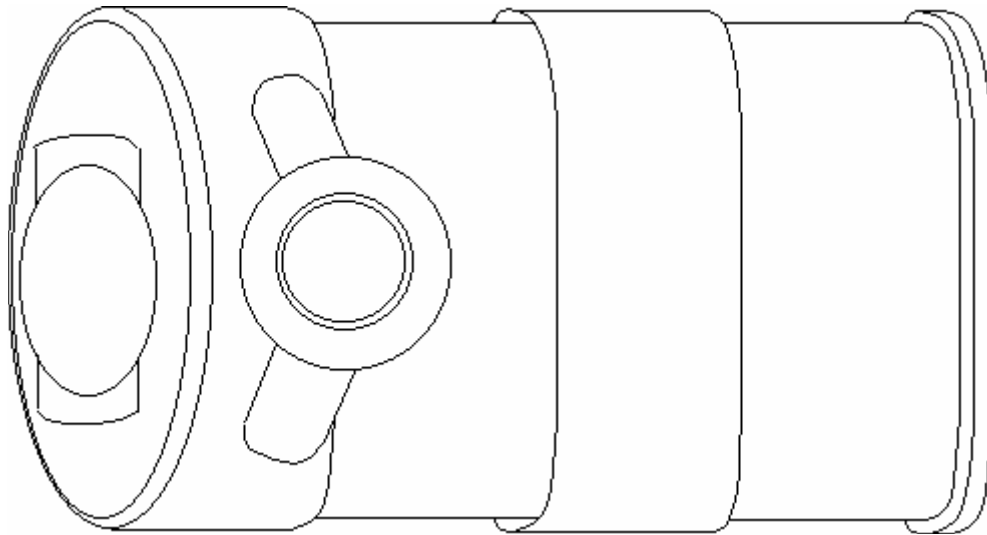


Рис.2 – Общий вид ПЗУ

Как видно из рис.1 и 2 ПЗУ – это, по сути, кольцевой эжектор (поз. 1), который заключён в корпусе (поз. 2), который представляет из себя трубу  $d_y = 234$  мм. Для возможности подсоединения транспортного трубопровода посредством хомутов быстросъёмных соединений в корпус ПЗУ вставляется переходник с ребордным кольцом (поз. 3)  $d_y = 207$  мм. Для крепления ПЗУ предусмотрено ребро (поз. 4), с помощью которого устройство может закрепляться на столе или раме породоподающего конвейера. Конструкция ребра предусматривает так же возможность изменения угла наклона к горизонтали, что значительно упрощает монтаж ПЗУ, а также в зависимости от условий изменять разгонную длину трубопровода.

Принципиально схема работы ПЗУ выглядит следующим образом: сжатый воздух из магистрали или компрессора через гибкий соединительный шланг и воздухоприёмник (поз. 5) коллектора подаётся в эжектор, а из него в само устройство, создавая при этом разрежение и втягивая воздух из окружающей среды. Порода подаётся при помощи конвейера или бункера накопителя и увлекается в устройство эжектируемым потоком воздуха, а затем по транспортному трубопроводу попадает в бутовую полосу.

Прототипом для создания ПЗУ послужила малогабаритная пневмотранспортная установка УРП с кольцевым эжектором [3, 4], которая была разработана ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины совместно с ДонУГИ для перемещения отбитой породы непосредственно из призабойного пространства в отработанное.

Использование ПЗУ, при технологии селективной выемки угля и породы, с размещением последней в бутовых полосах, позволяют комплексно решать следующие проблемы:

- обеспечить надёжную охрану поддержания штреков на период работы лавы;
- значительно повысить качество добываемого угля и снизить объёмы

транспортирования и выдачи пустой породы;  
- улучшить условия и безопасность труда горнорабочих.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колоколов О.В. Технология закладки выработочного пространства в шахтах и рудниках: Учебник для вузов. - Днепропетровск: Січ, 1997. – 135с.
2. Технология закладки и экологические особенности оставления породы в выработанном пространстве подземных предприятий / под. общ. Ред. С.С. Гребенкина. – Донецк: «Регион», 1999, - 342 с.
3. Потураев В.Н., Волошин А.И., Пономарёв Б.В. Вибрационно-пневматическое транспортирование сыпучих материалов – Киев: Наук. думка, 1989. – 248с.
4. Механика вибрационно-пневматических машин эжекторного типа / В.Н. Потураев, А.Ф. Булат, А.И. Волошин и др. – Киев: Наук. думка, 2001. – 176 с.
5. Технология раздельной выемки угля и породы на тонких пластах / Е.Ф. Дубов, О.В. Антипов // Уголь Украины. – 1995.- №9.- С. 15 – 16.

**УДК 622.647.2**

Канд. техн. наук Е.И. Оксень (ДонНТУ)

### **О МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ РАЗВИТИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МЕХАНИЗМАХ ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН**

Запропоновано методику узагальненої оцінки протікання динамічних процесів у механізмах гірничо-транспортних машин, що виявляються за результатами чисельного моделювання або експериментальних досліджень. На прикладі результатів чисельного моделювання пускових процесів у стрічковому конвеєрі-живильнику й експериментально отриманого сигналу зусилля деформування проби насипного вантажу виконані порівняльні амплітудно-частотні і тимчасовий амплітудно-частотні аналізи.

### **ABOUT METHODOLOGY OF AN ESTIMATION OF DEVELOPMENT OF DYNAMIC PROCESSES IN MECHANISMS OF MINING - TRANSPORT MACHINES**

The technique of the generalized estimation of course of dynamic processes in mechanisms of the mountain - transport machines revealed by results of numerical modeling or experimental researches is offered. By the example of results of numerical modeling starting processes in a tape conveyor - feeder and experimentally received signal of effort of deformation of test of a bulk cargo it is executed comparative amplitude-frequency and time amplitude-frequency analyses.

Анализ развития динамических процессов в механизмах представляет значительный интерес при проектировании горно-транспортных машин для условий, в которых режимы работы с изменяющимися нагрузками существенно влияют на основные параметры и общий расчёт [1] не может быть сведен к статическому. В частности, к ним относятся расчёты переходных режимов ленточных конвейеров-питателей, для которых пуск всегда осуществляется при максимальной нагрузке, в том числе и в условиях дополнительного повышения устойчивости насыпного груза при длительном хранении. На необходимость выполнения данных исследований для машин погрузочно-разгрузочных узлов рудных горных предприятий указывал А.О. Спиваковский [2]. Получению аналитических решений для уравнений многомассовых динамических систем