



А. И. ВОЛОШИН,
чл.-корр. НАН Украины

Создана теория пневмотранспортирования сыпучих материалов. Обобщены результаты работ по созданию и промышленному применению закладочных вибрационно-пневматических машин. Дана оценка технических и технологических параметров транспортирования горной породы закладочными вибрационно-пневматическими машинами и комплексами. Показана эффективность использования данного типа оборудования на предприятиях отрасли.

Отработка шахтных полей с оставлением отходов горного производства в выработанном пространстве шахт позволяет решать не только экологические проблемы, но и повысить полноту извлечения полезного ископаемого и снизить его зольность. Кроме того, использование отходов горного производства от внутришахтных источников для возведения закладочных массивов, в частности бутовых полос, способствует эффективной охране и поддержанию горных выработок, минимизируя негативные проявления горного давления.

Для решения стратегически важных для горнодобывающих предприятий вопросов специалистами Института геотехнической механики им. Н. С. Полякова НАН Украины исследованы физические процессы, происходящие в вибропневмотранспортных системах, направленные на установление [1–4]:

Теория и практика создания закладочных вибрационно-пневматических машин

- физической сущности и обоснование эффективности использования вибрационного воздействия на сыпучий материал на загрузочном участке вибрационно-пневматических машин (ВПМ);

- эффективного коэффициента трения при совместном виброаэродинамическом воздействии на перемещаемый материал;

- закономерностей движения липкого материала на вибрирующей поверхности рабочего органа загрузочных устройств ВПМ;

- закономерностей движения кусковатого сыпучего материала на вибрационно-разгонном участке и в транспортном трубопроводе ВПМ.

На основе механики гетерогенных сред разработана физически обоснованная математическая модель двухфазных потоков «газ – твердые частицы» в пневмотранспортном трубопроводе. При исследовании дискретных математических моделей с учетом вращения частиц, движущихся в потоке газа, определены основные закономерности процесса пневмотранспортирования сыпучих материалов, которые подтверждены научным открытием № 197 от 26 декабря 2001 г. Получила дальнейшее развитие теория смешивания газовых потоков в эжекторных устройствах пневмотранспортных систем. Законо-

мерности смешивания газовых потоков в эжекторных устройствах засвидетельствованы научным открытием № 423 от 2 декабря 2011 г.

Обобщение результатов исследований позволило институту впервые в мировой практике создать комплексную методику расчета конструктивных и технологических параметров полной технологической цепочки пневмотранспортной системы «компрессор – воздухопровод – ВПМ – транспортный трубопровод – выработанное пространство шахты».

Для экспериментальной проверки технико-технических характеристик ВПМ и идентификации расчетных параметров процесса вибропневмотранспортирования различных видов сыпучих материалов, в том числе горных пород, построен и введен в эксплуатацию опытно-промышленный полигон. Его технические возможности (компрессорное хозяйство, материальная база и контрольно-измерительная аппаратура) позволяют проводить экспериментальные исследования и испытания полноразмерных стенов и промышленных образцов ВПМ.

В результате исследований и испытаний в лабораторных, полигонных и шахтных условиях специалистами института созда-

на высокоэффективная вибропневмотранспортная техника. Промышленное применение этой техники направлено на решение различных технологических вопросов горного производства, связанных с закладкой выработанного пространства, в частности:

- с селективной выемкой полезных ископаемых;
- выкладкой бутовых полос;
- частичной или полной закладкой породой выработанного пространства.

Селективная выемка полезных ископаемых. Институт начал заниматься вопросами селективной выемки полезных ископаемых с конца 80-х годов прошлого столетия, акцентировав основное внимание на проблемах горнодобывающих предприятий Никополь-Марганецкого рудного бассейна. Для этого разработан, испытан и опробован в промышленных условиях вибрационно-пневматический закладочный комплекс ВПЗК (рис. 1). На базе совершенствования конструкции основных составных элементов ВПЗК с 1984 г. начато серийное изготовление пневмозакладочного комплекса КПЗ 00.00.000 (в виде партии разового выпуска). Комплексы ВПЗК и КПЗ успешно зарекомендовали себя в процессе промышленной эксплуатации [1 – 3].

Широкое промышленное применение комплексов ВПЗК и КПЗ требует обеспечения их работы достаточным количеством сжатого воздуха. В этих целях разработан и согласован с ведущей проектной организацией «Южгипроруда» проект капитальной реконструкции существующих сетей воздухообеспечения шахт Марганецкого бассейна.

При раздельной выемке угля и породы на тонких угольных пластах для перемещения отбитой выемочным комбайном породы из призабойного пространства в выработанное (без выдачи породы на штрек) разработана установка для размещения породы (УРП) в выработанном пространстве лавы [3, 4]. Полноразмерный образец установки изготовлен



Рис. 1. Общий вид комплекса ВПЗК (ТУ 14-12-332-85).

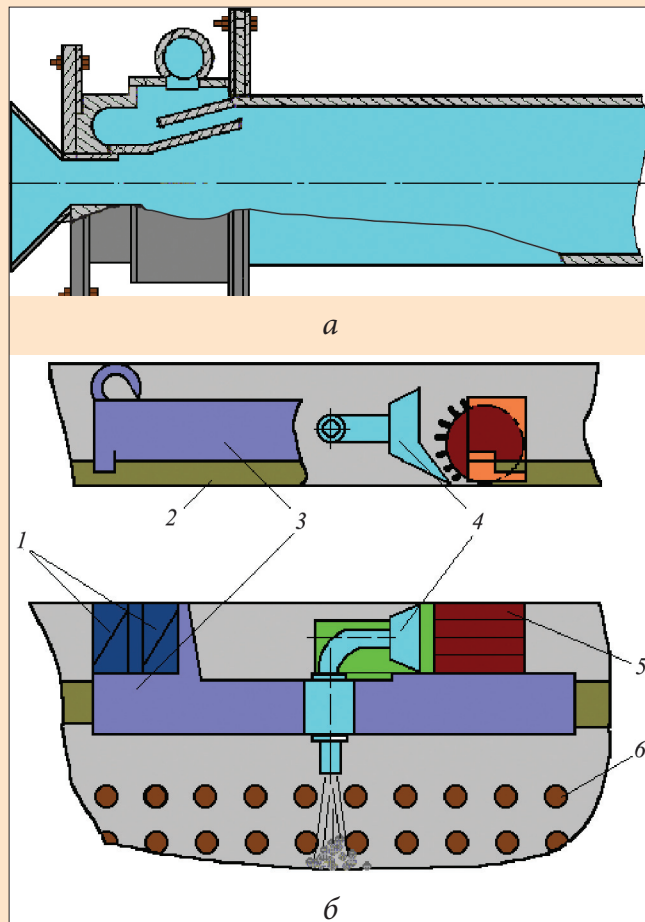


Рис. 2. Принципиальная схема УРП (а) и технологическая схема расстановки оборудования при раздельной выемке угля и породы (б), разработанная ДонУГИ: 1 – угольные шнеки; 2 – конвейер; 3 – добычной агрегат; 4 – УРП; 5 – породный барабан; 6 – стойки крепи.

и испытан в полигонных условиях в соответствии с требованиями ТЗ 2219203020-94.

Принципиальная схема УРП и технологическая схема расстановки оборудования для механизации процесса размещения породы в выработанном пространстве очистного забоя при раздельной выемке угля и породы показана на рис. 2. Показатели назначения малогабаритной установки УРП (0,3×0,3×0,3 м, масса до 50 кг) приведены в работе [4]. Такое закладочное оборудование, простое конструктивно и надежное в эксплуатации, разработано впервые и не имеет аналогов в мировой практике.

Для оставления в выработанном пространстве породы, предварительно выдаваемой из лавы на штрек, создано оригинальное пневматическое закладочное устройство ПЗУ (рис. 3). Устройство про-

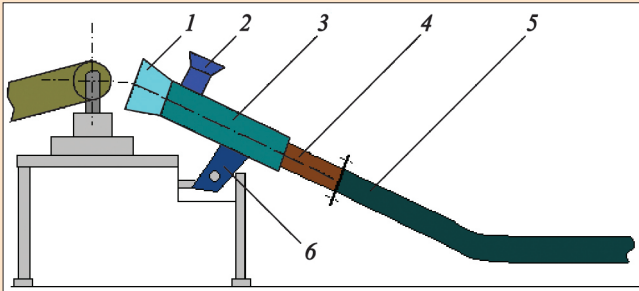


Рис. 3. Принципиальная схема ПЗУ и ее расположение на штреке: 1 – кольцевой эжектор; 2 – воздухоприемник; 3 – корпус ПЗУ; 4 – переходник; 5 – транспортный трубопровод; 6 – ребро для крепления ПЗУ.

шло лабораторные испытания, результаты которых подтвердили принципиальную возможность его применения при раздельной выемке угля и породы [5].

Выкладка бутовых полос. Для выкладки бутовых полос с обеспечением высокой плотности закладочного массива сотрудниками института и НИЦ «Экология-Геос» разработан комплекс вибропневмотранспортный бутовый (КВПБ) [5, 6]. Он предназначен для дробления, транспортирования и оставления породы в бутовых полосах при проходке и ремонте выработок. Основным элементом комплекса – малогабаритная ВПМ с кольцевым эжекторным устройством, техническую характеристику которой приводим ниже.

Производительность, м ³ /ч	15
Дальность транспортирования, м	60
Расход сжатого воздуха, м ³ /ч	3000
Давление сжатого воздуха в подающей магистрали, МПа	0,3–0,65
Максимальный размер куска транспортируемого материала, м	0,035
Диаметр транспортного трубопровода, м	0,2
Мощность электродвигателя привода вибратора, кВт	1,1
Габаритные размеры, м, не более	0,3×0,8×0,7
Масса, кг, не более	200

Приемочные испытания опытного образца КВПБ 35.02.000 проведены в 2000 г. на промплощадке ствола № 8 шахты им. А. Г. Стаханова. В качестве базовой схемы испытаний выбрана схема отработки угольных пластов прямым ходом с оставлением породы в бутовых полосах в горнотехнических условиях шахты «№ 1 – 3 Новогородовская» [3].

Помимо этих испытаний в шахте им. А. Г. Стаханова проведены испытания комплекса КВПБ для вы-

кладки бутовых полос при охране конвейерных и вентиляционных штреков. Для испытаний выполнены проекты двух экспериментальных участков [6]. Однако внутришахтные испытания комплекса проведены не в полном объеме из-за отсутствия требуемого количества сжатого воздуха и неудовлетворительного состояния внутришахтных систем воздухоснабжения.

Важный вопрос использования комплекса КВПБ (или отдельно ВПМ) для оставления в выработанном пространстве лавы породы при проходке подготовительных выработок – выбор рациональной схемы размещения основного технологического оборудования. Схема определяется геологическими и горнотехническими условиями ведения горных работ, индивидуальна для конкретного участка и взаимосвязана с проходческим оборудованием.

При разработке технологических схем возведения бутовых полос с использованием ВПМ с кольцевым эжектором основное внимание акцентировалось на решении вопросов по обеспечению:

- максимальной плотности бутовой полосы за счет высокой скорости вылета закладочного материала;
- поточности технологического цикла закладки;
- минимальных энерго- и трудозатрат на выполнение работ (прежде всего на монтажно-демонтажные работы при проходке выработки с использованием буровзрывных работ);
- максимального применения основного проходческого оборудования;
- минимального объема дополнительной технологической оснастки, которую необходимо размещать в проводимой выработке.

ИГТМ НАН Украины совместно с НИЦ «Экология-Геос» разработаны более 40 вариантов технологических схем применения КВПБ и эжекторной ВПМ для возведения бутовых полос и закладки породой выработанного пространства. В процессе их разработки рассмотрены практически все возможные варианты применения вибрационно-пневматических машин в различных геологических и горнотехнических условиях ведения горных работ (как с нижней, так и с верхней подрывкой). Испытания работы ВПМ с конфигурацией транспортного трубопровода достаточно сложной формы, имеющей восходящие участки, дали положительные результаты. При использовании верхней подрывки (проходка участковой выработки с опережением лавы на расстояние не менее 20 м) технически возможно за-



Рис. 4. Общий вид типоразмерного ряда ВПМ с кольцевым эжектором.

- увеличить в 2 – 2,5 раза пропускную способность загрузочного участка и тем самым повысить производительность работы ВПМ;
- увеличить до 120 м дальность транспортирования породы;
- обеспечить возможность транспортирования по трубопроводу с участками подъема и поворота до 90°;

кладывать породу в бутовую полосу при работе ВПМ с прямолинейным трубопроводом [3].

Учитывая большое разнообразие горнотехнических условий ведения горных работ при отработке пологих угольных пластов на шахтах Донбасса и то что обеспечение указанных машин сжатым воздухом – высокоэнергоемкий процесс, создан типоразмерный ряд ВПМ с кольцевым эжектором (рис. 4). В качестве классификационного признака принят диаметр транспортного трубопровода, указываемый в названии машин. Основные показатели назначения и техническая характеристика этого оборудования приведены в работе [4].

В целях определения возможности применения ВПМ с кольцевым эжектором для ведения закладочных работ в наиболее сложных горнотехнических условиях в 2004 г. на промплощадке ствола № 8 шахты им. А. Г. Стаханова проведены межведомственные испытания головного образца (ВПМ-200) типоразмерного ряда ВПМ.

Частичная или полная закладка породой выработанного пространства. Экспериментальные и промышленные испытания натурных образцов эжекторных ВПМ на опытно-промышленном полигоне института и предприятиях горнодобывающей отрасли показали, что ВПМ с кольцевым эжектором позволяет:

- впервые в практике ведения горных работ достичь устойчивого режима транспортирования всех видов закладочных материалов, включая липкие и влажные горные породы;

● повысить кинетическую энергию аэросмеси на выходе из транспортного трубопровода, в результате существенно (до 0,8 – 0,85) увеличится относительная плотность закладочного массива;

● значительно уменьшить габаритные характеристики (по высоте до 0,4 м) и массу (до 200 кг), а также обеспечить возможность увязки с существующим оборудованием;

● снизить на 20 – 40 % энергоемкость пневмотранспортирования и тем самым уменьшить расход сжатого воздуха.

Исполнение машины дает возможность использования ее в условиях работы с повышенной взрыво- и пожароопасностью.

Применение ВПМ с кольцевым эжектором в различных технологических процессах горных работ определяется индивидуальными условиями их проведения. Для более эффективного ее использования

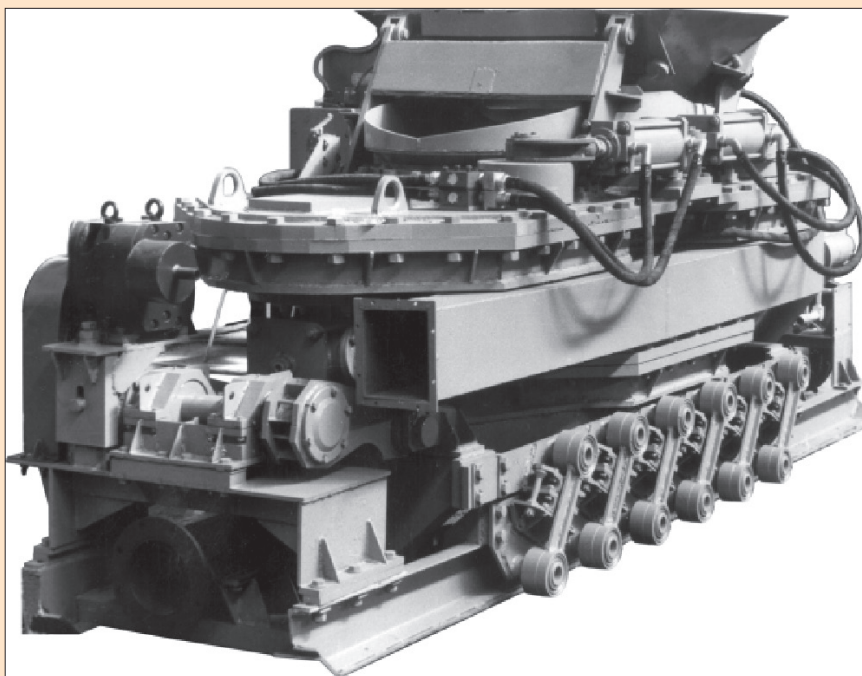


Рис. 5. Общий вид закладочной вибрационно-пневматической машины ВПМЦ.



предусмотрена конструктивная увязка машины с дробилкой ДЦМ-1, разработанной специалистами института. Областью применения ВПМ с кольцевым эжектором для частичной закладки породой выработанного пространства может быть [3 – 4]:

погашение тупиковых выработок – загрузку ВПМ породой можно осуществлять как механизированным способом (с помощью конвейера), так и вручную. При использовании такой технологии создаются хорошие условия для извлечения и повторного применения крепежного материала;

тампотаж закрепного пространства – загрузка ВПМ возможна как вручную, так и с помощью конвейера (для обеспечения бесперебойной подачи породы). Оставление породы в выработанном пространстве и тампотаж существенно улучшают состояние горных выработок за счет снижения вредного влияния горного давления при плотной паковке;

погашение косовичников и отработанных сбоек – подтверждена целесообразность использования ВПМ при ведении очистных работ прямым ходом.

Кроме ВПМ с кольцевым эжектором специалистами института разработана и апробирована камерная закладочная вибрационно-пневматическая машина циклического действия (ВПМЦ), относящаяся к классу цехового пневмотранспорта. Производительность ВПМЦ (рис. 5) до $120 \text{ м}^3/\text{ч}$, дальность транспортирования до 2,5 км, габаритные размеры $1,2 \times 0,7 \times 2,5 \text{ м}$. Оборудование данного класса – высокоэффективное средство для доставки закладочного материала с участков его подготовки к добычным участкам и частичной или полной закладки выработанного пространства лавы [1, 2].

Использование ВПМЦ на предприятиях отрасли позволит существенно снизить затраты на транспортирование закладочного материала за счет исключения из стоимости закладочных работ строительства перегрузочных пунктов и эксплуатации других видов транспорта.

Выводы. Разработаны фундаментальные основы механики пневмотранспортирования сыпучих материалов с использованием механики гетерогенных сред и физически обоснованной математической модели движения двухфазных потоков «газ – твердые частицы». Создана фундаментальная теория двухфазных потоков в поле действия виброаэродинамических сил. Результаты научных исследований стали основанием для формирования нового направления в разработке пневмотранспортного горного оборудования высокого технического уровня – малогабаритных, экономичных, высокоэффективных вибропневмотранспортных машин непрерывного и циклического действия. Промышленное освоение предприятиями отрасли разработанного в ИГТМ НАН Украины оборудования позволит успешно решить актуальные горнотехнические задачи ведения горных работ с закладкой выработанного пространства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потураев В. Н. Вибрационно-пневматическое транспортирование сыпучих материалов / В. Н. Потураев, А. И. Волошин, Б. В. Пономарев. – К.: Наукова думка, 1989. – 248 с.
2. Волошин А. И. Механика пневмотранспортирования сыпучих материалов / А. И. Волошин, Б. В. Пономарев. – К.: Наукова думка, 2001. – 521 с.
3. Механика вибрационно-пневматических машин эжекторного типа / [В. Н. Потураев, А. Ф. Булат, А. И. Волошин и др.]. – К.: Наукова думка, 2001. – 176 с.
4. 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.
5. Волошин А. И. Пневматическое закладочное устройство (ПЗУ) / А. И. Волошин, О. В. Рябцев, С. Ю. Процак, А. А. Волошин // Геотехническая механика. – 2004. – Вып. 48. – С. 115 – 122.
6. Волошин А. И. Промышленная проверка комплекса КВПБ в шахтных условиях / А. И. Волошин, О. В. Рябцев, А. А. Волошин // Геотехническая механика. – 2000. – Вып. 21. – С. 44 – 47.