

можно прийняти як нижню межу критичної сили для розміщення екіпажів, яке розглядається.

Тому $S=140$ кН для порожнього візка і $S=400$ кН для навантаженого візка.

Таким чином, проведені дослідження показують, що прийнята конструкція гальма [4] для конвеєрного поїзда забезпечує режим стійкого руху при гальмуванні. Поздовжня стискаюча сила, яка дорівнює сумі гальмівної сили і сили опору руху, більш ніж у два рази менша критичної сили, що може привести до нестійкого руху конвеєрного поїзда.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лазарян В.А. О переходных режимах движения поездов. Труды ДИИТа, вып. 152, Днепропетровск, 1973, с. 3-68.
2. Конашенко С.И., Науменко Н.Е. О пуске в ход конвейерного поезда линейными электродвигателями. Сб. «Горная электромеханика и автоматика», вып. 30, Харьков, 1977, с. 133-138.
3. Поляков Н.С., Новиков Е.Е. Динамика шахтного рельсового транспорта. Киев: «Наукова думка» 1973, 200 с.
4. А.с № 962073 СССР, МКИ В61К $7/02$ —Тормозное аварийное устройство—Б.Н. Тартаковский, С.М. Бро, В.Т. Куприй, Э.М. Паршкин, Пилипчук С.М., Опубликовано в БИ, 1982, № 36.
5. Тартаковский Б.Н., Вишняков В.С., Пригунов А.С. и др. Конвейерные поезда конструкции ИГТМ АН УССР, обзор ЦНИЭП: - М., 1980.

УДК 622.273.217.5

Д-р техн. наук А.И. Волошин, инж. О.В. Рябцев,
канд. техн. наук Ю.Н. Игнатович,
канд. техн. наук Б.В. Пономарев,
инж. А.А. Волошин, инж. С.Н. Пономаренко,
инж. С.Ю. Процак
(ИГТМ НАН Украины)

ПРИЕМОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА МАЛОГАБАРИТНОГО ВИБРАЦИОННО-ПНЕВМАТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В статті наведено результати приймальних випробувань малогабаритного вібраційно-пневматичного комплексу нового технічного рівня, а також аналіз результатів випробувань і рекомендації що до застосування цього комплексу на вуглевидобувних підприємствах.

ACCEPTANCE TESTS OF AN EXPERIENCED SAMPLE OF SMALL-SIZED VIBRATING PNEUMATIC COMPLEX

In the article results of acceptance tests of a small-sized vibrating pneumatic complex of a new technological level are brought, and as the analysis of results of tests and recommendation for application of this complex at the enterprises, which extract coal.

Отработка угольных пластов с оставлением пустых пород в выработанном пространстве шахты, в т.ч. использование их в виде породных полос для охраны и поддержания выемочных штреков в рабочем состоянии на весь период эксплуатации, является актуальной проблемой угледобывающей промышленности. Вопро-

сы техники и технологии ведения закладки выработанного пространства различными способами, экономические, экологические и социальные аспекты закладки в достаточной степени отражены в научно-технической литературе и позволяют оценить состояние проблемы в Украине [1 - 4] и за рубежом [5 - 6]. Анализ имеющейся информации показывает, что многообразие геологических, горнотехнических условий отработки пологих угольных пластов требует в каждом конкретном случае учитывать их при выборе способа закладки выработанного пространства, разработке технологических схем ведения закладочных работ и определении рациональных параметров технологии ведения горных работ во взаимосвязи с геомеханикой подработанных горных пород надугольной толщи.

Основным параметром бутовой полосы, определяющим ее несущую способность, является коэффициент плотности закладочного массива (жесткости бутовой полосы).

Созданные и используемые в настоящее время на шахтах Донбасса технические средства для механизации процесса выкладки бутовых полос (дробильно-закладочный комплекс «Титан», скреперные установки ЗУ, ЗК и др.) позволяют лишь частично решать вопрос возможности безремонтного поддержания выработок из-за недостаточной для этих целей плотности (жесткости) закладочного массива. Кроме того, комплекс «Титан» обладает еще и существенными массогабаритными характеристиками.

Для выкладки бутовых полос высокой плотности при отработке угольных пластов по сплошной системе разработки в ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины разработан комплекс вибрационно-пневматический бутовый (КВПБ). Он предназначен для дробления, транспортирования и доставки породы в бутовые полосы при проходке и ремонте выработок. Основным элементом комплекса, характеризующим его параметры назначения, является малогабаритная вибрационно-пневматическая машина непрерывного принципа действия (ВПМН) с кольцевым эжекторным устройством [7], важнейшие проектные характеристики, которой приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Проектные характеристики комплекса КВПБ

№ п/п	Показатели назначения	Величина
1.	Производительность, м ³ /ч	15
2.	Дальность транспортирования, м	60
3.	Требуемый расход сжатого воздуха, м ³ /ч	3000
4.	Давление сжатого воздуха в подающей магистрали, МПа	0,3-0,65
5.	Максимальный размер куска для транспортирования, м	0,035
6.	Диаметр транспортного трубопровода, м	0,2
7.	Мощность электродвигателя привода вибратора, кВт	1,1
8.	Габариты, не более, м	
	высота	0,3
	ширина	0,8
	длина	0,7
9.	Масса, не более, кг	200

В 1999 г. были проведены испытания вибрационно-пневматической машины непрерывного действия (ВПМН) в комплексе с воздуходувной установкой ВП - 70, входящей в состав комплекса "Титан". Целью испытаний являлось определение показателей назначения ВПМН и оценка возможности использования этого комплекса оборудования для решения задачи оставления породы в выработанном пространстве шахт. Результаты испытаний показали, что ВПМН с кольцевым эжектором при том избыточном давлении, которое обеспечивает ВП - 70 (менее 0,05 МПа) транспортирует породу на незначительные расстояния, что делает использование данного комплекса оборудования мало эффективным [8].

Промышленная проверка работы комплекса КВПБ в шахтных условиях (шахта им. А.Г. Стаханова ГП "Красноармейскуголь"), с запиткой ВПМН из шахтной пневмосети показала, что, несмотря на невозможность обеспечения требуемого объёмного расхода сжатого воздуха (из-за неудовлетворительного технического состояния шахтной пневмосети) были достигнуты, близкие к проектным, показатели назначения комплекса. Результаты проведенных испытаний и анализ технических возможностей компрессорных хозяйств шахт Донбасса однозначно показали необходимость комплектации КВПБ индивидуальной компрессорной установкой. Используя алгоритм и программу для расчета вибропневмотранспортных систем [10], были определены параметры индивидуальной компрессорной установки, позволяющие осуществлять эффективную работу при оставлении породы в породных полосах при отработке пологих угольных пластов [11].

Для определения степени надежности работы КВПБ в условиях сложных трасс транспортного трубопровода, имеющих восходящие участки, повороты на различные углы и т.п., нами в 2000 году, в соответствии с Приказом Минтопэнерго Украины, были проведены межведомственные приемочные испытания опытного образца комплекса малогабаритного вибрационно-пневматического бурового (КВПБ 35.02.000), основной единицей которого является ВПМН.

Основные проектные показатели назначения КВПБ в соответствии с ТЗ приведены в табл. 1.

Помимо проверки работоспособности КВПБ для различных схем транспортного трубопровода задачами, подлежащими решению при проведении приемочных испытаний, являлись:

- определение соответствия КВПБ требованиям ТЗ;
- определение окончательных конструкторских и технологических решений;
- проведение оценки ремонтпригодности комплекса;
- установление окончательных паспортных характеристик;
- установление необходимости и объема работ по доводке комплекса.

Место проведения приемочных испытаний было выбрано на пром-площадке ствола №8 шахты им. А.Г. Стаханова ГП "Красноармейскуголь" непосредственно возле компрессорной станции 8-го блока.

Объем испытаний по горной массе определялся, исходя из требований обеспечения непрерывности потока транспортирования и обеспечения надежности

определения показателей назначения комплекса.

Технические возможности проведения испытаний на шахтной поверхности обеспечивали возможность загрузки закладочной машины ВПМН только вручную мерными емкостями. При этом объем горной массы для единичного замера одного показателя назначения при непрерывном транспортном потоке составлял до $0,1 \text{ м}^3$.

По рекомендациям, изложенным в работе [12], количество повторных замеров для определения величины каждого показателя назначения при заданных (фиксированных) параметрах сжатого воздуха по давлению и расходу с надежностью 0,95 при коэффициенте вариации 30 % и допустимой погрешностью 20 %, что составляет не менее 8.

Исходя из количества показателей назначения и диапазона варьирования параметров сжатого воздуха, общий объем перегруженной горной массы составил порядка 12 м^3 .

Принципиальные схемы транспортного трубопровода представлены на рис. 1. Первая (поз. а) и вторая (поз. б) предназначены для варианта оставления породы в бутовых полосах при отработке угольного пласта по сплошной системе разработки в условиях шахты 1/3 "Новгородовская". Они отличаются наличием у второй схемы (поз. б) начального горизонтального разгонного участка. Геометрические параметры первой схемы (поз. а) увязаны с рациональным вариантом расположения вибропневмотранспортного оборудования в забое выработки. Эта схема принята базовой. Третья схема (поз. в) предназначалась для проверки возможности поворота потока горной массы на 180° для тампонирувания закрепного пространства участковой выработки. Четвертая схема – прямоточная (на рис. 1 не показана) предназначалась для определения максимальной дальности транспортирования горной массы.

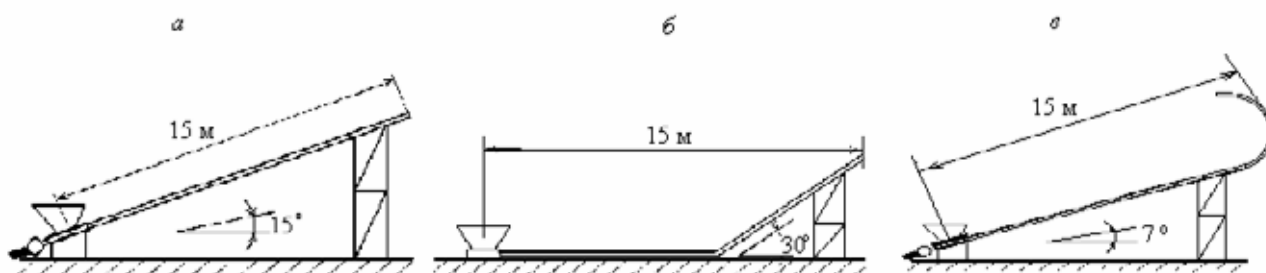


Рис. 1 - Принципиальные схемы транспортных трубопроводов

В процессе проведения приемочных испытаний были установлены величины показателей назначения КВПБ, которые сведены в табл. 2.

Таким образом, в результате проведения приемочных испытаний была доказана высокая степень надежности КВПБ и эффективность пневмотранспортирования горной массы для различных технологий ведения горных работ с оставлением породы в шахте при проведении и ремонте горных выработок: выкладке бутовых полос; тампонирувании закрепного пространства выработок; погашении тупиковых выработок и др.

Таблица 2 – Величины показателей назначения КВПБ по результатам приемочных испытаний

№ п/п	Показатель назначения	Величина
1.	Избыточное давление сжатого воздуха на входе в ВПМН, МПа минимальное максимальное	0,2 0,38
2.	Расход сжатого воздуха на входе в ВПМН, м ³ /мин минимальный максимальный	30,0 70,0
3.	Расход сжатого воздуха в транспортном трубопроводе без горной массы, м ³ /мин минимальный максимальный	35,0 100,0
4.	Избыточное давление в транспортном трубопроводе, МПа минимальное максимальное	0,03 0,09
5.	Максимальный расход эжектируемого из атмосферы воздуха без горной массы, м ³ /мин	30,0
6.	Дальность транспортирования горной массы, м по схемам <i>a</i> и <i>б</i> по схеме <i>в</i> при прямолинейном трубопроводе	35,0 17,0 100,0
7.	Производительность ВПМН, м ³ /ч по схемам <i>a-в</i> минимальная максимальная максимальная при прямоточном трубопроводе	16,0 32,0 25,0
8.	Дальность вылета кусков горной массы при ее разгрузке по схемам <i>a</i> и <i>б</i> , м минимальная максимальная	4,0 – 6,0 10,0 – 15,0
9.	Размеры транспортируемого материала, м	0,001 – 0,08
10.	Уровень шумового воздействия, дБА, не более	73

Определенные в процессе проведения приемочных испытаний показатели назначения КВПБ соответствуют, а некоторые из них – производительность, дальность транспортирования, дальность вылета горной массы из транспортного трубопровода, превосходят проектные даже при сложных схемах транспортного трубопровода.

Решением приёмочной комиссии комплекс КВПБ рекомендован для использования в технологических схемах отработки пологих угольных пластов для охраны и поддержания, участковых выработках с помощью бутовых полос.

Оценка достоверности результатов инженерного расчета параметров траектории полета частиц закладочного материала, установленных в [13] произведена на основе данных экспериментальных исследований этого процесса, которые

были выполнены в процессе проведения приемочных испытаний вибропневмо-закладочного комплекса КВПБ на шахте им. А.Г. Стаханова ГП "Красноармейскоуголь". Эти исследования не входили в программу приемочных испытаний, а были выполнены дополнительно с конкретной целью идентификации результатов теоретических разработок.

Они выполнялись по следующей методике.

В направлении продолжения горизонтальной оси конечной части транспортногo трубопровода (за его срезом) была подготовлена площадка длиной 20 м и шириной 3 м. После предварительного выравнивания, площадка была засыпана слоем (5-10 см) песка. Это было сделано для того, чтобы иметь возможность четкой фиксации места падения частиц горной массы, т.к. в случае «жесткой поверхности» и с учетом высокой кинетической энергии частиц, зафиксировать координаты их выпадения на почву технически невозможно из-за их рикошета.

Расстояние от точки падения частиц до среза транспортногo трубопровода (его вертикальной проекции на почву) измерялось с помощью маркшейдерской рулетки.

Учитывая высокую полидисперсность закладочного материала для исследований из его гранулометрического спектра был выбран дискретный ряд (по размерам) наиболее представительных частиц $d = 5; 10; 25$ и 50 мм. Подготовка этих частиц для эксперимента производилась из шахтной породы способом ручной сортировки и последующей механической обдирки для придания им изометрической формы.

Величина требуемой навески каждой фракции определялась по результатам расчета величины необходимой выборки (количества единичных измерений в каждой серии эксперимента для достижения заданной надежности определения дальности полета частицы горной массы).

Количество измерений n определялось по выражению [12]:

$$n = t_n^2 \cdot \kappa_{\text{вар}}^2 / \kappa_{\text{доп}}^2,$$

где t_n – нормированное отклонение; $\kappa_{\text{вар}}$ – коэффициент вариации; $\kappa_{\text{доп}}$ – допустимая относительная ошибка.

В соответствии с рекомендациями [12] значение t_n принималось равным 1,96 (для надежности, равной 0,95); $\kappa_{\text{вар}} = 20$ % (для II и III классов по шкале стабильности горнотехнологических показателей); $\kappa_{\text{доп}} = 15$ %. Исходя из этого минимальное количество единичных опытов для частицы определенного размера составляет 6.

Исследования выполнялись при трех значениях объемного расхода сжатого воздуха ($Q_1^V = 1800; 3000; 4500$ м³/ч). В каждой серии опытов (при $Q_1^V = \text{const}$ и $d = \text{const}$) частицы горной массы заданного диаметра загружались в вибропневмотранспортную машину последовательно, после измерения дальности полета

предыдущей.

Учитывая, что эксперименты проводились на открытом воздухе, с целью сведения к минимуму влияния на траектории полета частиц изменений состояния атмосферы, исследования были проведены в непрерывном временном интервале одного благоприятного по гидрометеобстановке рабочего дня.

Полученные результаты измерений обрабатывались методом математической статистики с использованием коэффициента Стьюдента, ввиду малых выборок, по следующим формулам [14]:

- среднеарифметическое значение из n измерений

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i;$$

- погрешности отдельных измерений

$$\Delta x_i = \bar{x} - x_i;$$

- средняя квадратичная погрешность результата серии измерений

$$\Delta S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{n(n-1)}};$$

- границы доверительного интервала

$$\Delta x = t_a(n) \cdot \Delta S_{\bar{x}},$$

где $t_a(n)$ – табличное значение коэффициента Стьюдента для заданной надежности 0,95;

- окончательный результат измерений

$$x = \bar{x} \pm \Delta x;$$

- относительная погрешность результатов серии измерений

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\%.$$

Результаты статистической обработки сведены в табл. 3.

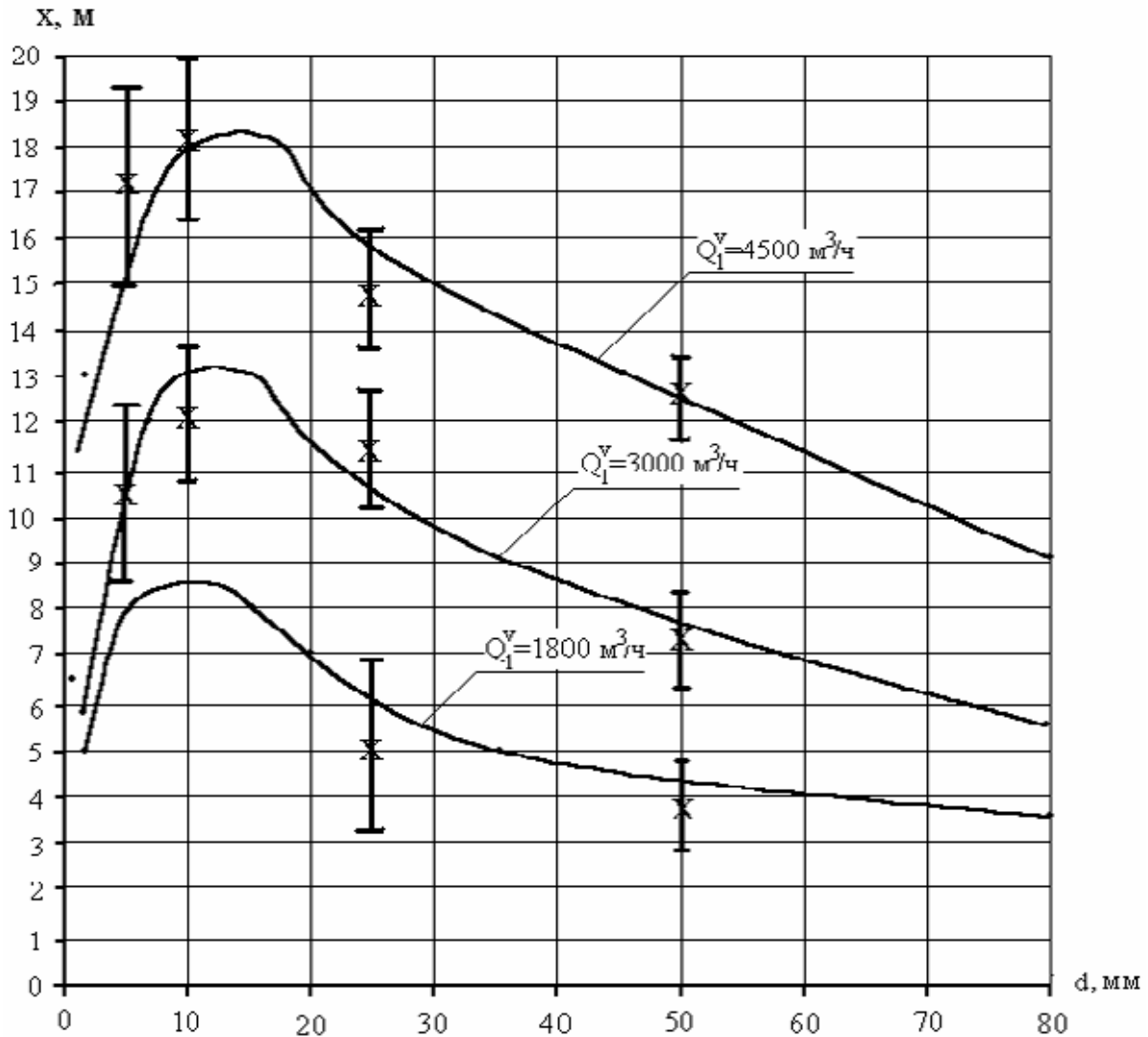
Таблица 3 – Результаты статистической обработки результатов экспериментальных исследований

№№ п.п.	$Q_1^V, \text{ м}^3/\text{ч}$	$d, \text{ мм}$	$\bar{x}, \text{ м}$	$\Delta S_{\bar{x}}$	$\Delta x, \text{ м}$	$x, \text{ м}$	$\varepsilon, \%$
1	1800,0	25	5,0	0,5444	1,40	$5,00 \pm 1,40$	28,0
2		50	3,75	0,3307	0,85	$3,75 \pm 0,85$	22,7
3	3000,0	5	10,80	0,7198	1,85	$10,80 \pm 1,85$	17,1
4		10	12,20	0,5447	1,40	$12,20 \pm 1,40$	11,5
5		25	11,45	0,4080	1,05	$11,45 \pm 1,05$	9,2
6		50	7,39	0,3500	0,90	$7,39 \pm 0,90$	12,2
7	4500,0	5	17,6	0,89	2,30	$17,6 \pm 2,30$	13,1
8		10	18,40	0,7000	1,80	$18,40 \pm 1,80$	9,8
9		25	14,60	0,5000	1,30	$14,60 \pm 1,30$	8,9
10		50	12,65	0,2218	0,57	$12,65 \pm 0,57$	4,5

Из приведенных в табл. 3 данных видно, что чем выше объемный расход воздуха (и, соответственно, начальная скорость вылета частиц горной массы из транспортного трубопровода) и больше размер (масса) частиц, тем более стабильны траектории их полета. Исключение составляют результаты измерений при $Q_1^V = 1800 \text{ м}^3/\text{ч}$. Такой расход воздуха ниже паспортной величины для вибропневмотранспортных машин рассматриваемого класса и поэтому полученные результаты эксперимента особого практического значения не имеют. Однако, с позиций понимания общих закономерностей изучаемого процесса необходимо их объяснение. Причиной высокой относительной погрешности полученных результатов (в табл. 3 не приведены данные для частиц диаметром 5 и 10 мм для которых величина ε составила 40-50 %) является следующая. В силу малых значений начальной кинетической энергии, тем более, у частиц мелких фракций, и низких значений движущей аэродинамической силы при полете они более подвержены локальным колебаниям состояния окружающей атмосферы (давление, ветер), которые могли иметь место при проведении экспериментов, но не были зафиксированы визуально.

На рис. 2 приведены расчетные зависимости дальности полета полидисперсного закладочного материала и показаны результаты экспериментальных исследований в виде среднеарифметических значений дальности полета частиц определенного размера и величин доверительных интервалов. Они показывают, что расчетные зависимости в исследованном диапазоне находятся в границах доверительных интервалов с надежностью 0,95. Это свидетельствует о достоверности расчетных данных и адекватности разработанной математической модели.

Важным вопросом использования КВПБ является выбор рациональной схемы размещения основного технологического оборудования в проводимой выработке. Эта схема определяется геологическими и горнотехническими условиями ведения горных работ. В общем случае она является индивидуальной для конкретной шахтолавы и взаимосвязывается с используемым проходческим оборудованием.



I – доверительный интервал;
 X – среднеарифметические значения экспериментальных данных
 Рис. 2 - Сопоставление расчетных и экспериментальных данных

Учитывая эти обстоятельства, нами разработаны технологические схемы компоновки КВПБ для двух видов типовых горнотехнических условий проведения участковых выработок: с опережением проходческим забоем очистного и по схеме "лава-штрек", при нижней подрывке в первом и во втором случаях.

Для первого типа условий схема разработана применительно к горнотехническим условиям проходки 1-го северного конвейерного штрека пласта k_8 , а для второго – 1-го северного вентиляционного штрека пласта k_8 шахты 1/3 "Новгородовская" ГП "Селидовуголь".

При разработке вариантов схем общим критериальным подходом был принят следующий – схема компоновки и размещения оборудования должна обеспечивать:

- максимальную плотность закладочного массива;
- поточность всего технологического цикла закладки;

- минимальные энергзатраты;
- минимальные трудозатраты на выполнение работ (в первую очередь на монтажно-демонтажные работы при проходке выработки буровзрывным способом);
- максимальное использование проходческого оборудования, имеющегося в наличии на шахте;
- минимальный объем дополнительной технологической оснастки, которую необходимо размещать в проводимой выработке.

Сравнительный анализ разработанных технологических схем показал, что наиболее полно приведенным выше требованиям удовлетворяют схемы, предусматривающие комбайновый способ проведения подготовительных выработок.

Таким образом, результаты проведенных приёмочных испытаний КВПБ и разработанные типовые технологические схемы, свидетельствуют о технической и технологической возможностях эффективной охраны и поддержания участковых выработок бутовыми полосами высокой плотности, выкладываемыми вибропневмозакладочными комплексами. Ожидаемый экономический эффект, достигаемый за счёт экономии средств на ремонт и перекрепления выработок, для условий шахт ГП «Селидовуголь» и ГП «Макеевуголь» составляет от 195 до 440 тыс. грн., в год на одну лаву в зависимости от геологических и горнотехнических условий ведения горных работ.

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. Смолдырев А.Е. Технология и механизация закладочных работ. - М.: Недра, 1974. - 319 с.
4. Технология раздельной выемки угля и породы на тонких пластах / Е.Ф. Дубов, О.В Антипов // Уголь Украины. – 1995.- №9.- С. 15 – 16.
5. Линде Ф.К. Пневматическая закладка на шахте "Хуго" // Глюкауф. - 1982. - №14. - С. 6 - 13.
6. Фосс К.Х. Оборудование и эксплуатация лав с пневматической закладкой // Глюкауф. - 1987. - №7. - С. 3 - 9.
7. А.с. 1553730 СССР, Кл. Е 21 F 15/10. Эжекторная вибрационно-пневматическая закладочная машина / В.Н. Потураев, А.И. Волошин, С.Н. Пономаренко и др. - Опубл. 30.03.90, Бюл. №12.
8. Результаты испытаний вибропневмотранспортной машины непрерывного действия с воздуходувной установкой ВП - 70 / А.И. Волошин, О.В. Рябцев, Ю.Н. Игнатович и др.// Сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины "Геотехническая механика", вып. 25. - Днепропетровск, 2001. - С. 92 - 96.
9. Промышленная проверка работы комплекса КВПБ в шахтных условиях / А.И. Волошин, О.В. Рябцев, А.А. Волошин // Сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины "Геотехническая механика", вып. 21. - Днепропетровск, 2000. - С. 44 - 47.
10. А.И. Волошин, Б.В. Пономарев Алгоритмы и программы для расчета вибропневмотранспортных систем. - К.: Наук. думка, 2002. - 134 с.
11. Обоснование параметров индивидуальной компрессорной установки комплекса КВПБ для отработки угольных пластов прямым ходом с оставлением породы в бутовых полосах / А.И. Волошин, О.В. Рябцев, Ю.Н. Игнатович и др.// Сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины "Геотехническая механика", вып. 22. - Днепропетровск, 2000. - С. 7 - 13.
12. Барон Л.И. Горнотехнологическое породоведение. - М.: Наука, 1977. - 324 с.
13. Волошин А.И., Пономарев Б.В., Рябцев О.В. Расчет вылета частиц закладочного материала в пространство не стесняющее струю // Механика пневмотранспортирования сыпучих материалов. - К.: Наук. думка, 2001. - С. 415 - 424.
14. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. - М.: Наука, 1970. - 104 с.