



С. В. МКРТЧЯН,
инж.
(ПСП «Шахтоуправление
им. Героев космоса»
ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»)



В. В. КОВАЛЕНКО,
канд. техн. наук
(Национальный горный
университет)



М. А. ВЫГОДИН,
канд. техн. наук
(Национальный горный
университет)



В. С. ГАРКУША,
аспирант
(Национальный горный университет)

УДК 622.257.1

Перспективы использования шахтной породы в твердеющих смесях для обеспечения устойчивости капитальных выработок

Представлена ресурсосберегающая технология обеспечения устойчивости капитальных горных выработок для шахт Западного Донбасса на основе подземной переработки горных пород. Рекомендованы рациональные составы тампонажных и торкрет-бетонных смесей на основе замены части заполнителя измельченной шахтной породой. Описано оборудование для предложенной технологии на шахте им. Героев космоса. Дана оценка экономического эффекта.

Ключевые слова: измельченные глинистые породы, тампонажный раствор, торкрет-бетон, набрызг-бетон, устойчивость выработок.

Контактная информация: kovalenko_vlad@mail.ru

При добыче полезных ископаемых подземным способом для предприятий актуальна проблема утилизации отходов. Ежегодный объем породы, выдаваемый шахтами Украины на поверхность только в Донбассе, составляет 14,4 млн т. Общее количество породных отвалов шахт и обогатительных фабрик превышает 1200, а площадь, которую они занимают, – 6300 га плодородной или пригодной под строительство земли. Отвалы – один из основных источников загрязнения атмосферы, поверхности почвы, грунтов, водоемов и подземных вод прилегающих территорий. Из горящего отвала средних размеров в течение года в атмосферу выделяются сотни тонн углекислого газа, оксида углерода и взвешенной пыли, что ухудшает санитарное состояние городов и поселков, является причиной заболеваний людей.

На некоторых шахтах до недавнего времени единственным способом утилизации пустых пород была их обратная закладка в выработанное пространство. Однако таким образом утилизировалось лишь 20–30 % пустых пород. В настоящее время это направление практически не реализуется. В целом уровень утилизации отходов горнодобывающей промышленности в Украине составляет 12 %, в ведущих горнодобывающих странах мира – не менее 65 % [1].

По мере увеличения глубины разработки и ухудшения геомеханических условий на всех угольных шахтах важно поддерживать протяженные выработки в устойчивом состоянии, а также стимулировать снижение затрат на крепежные материалы и мероприятия по обеспечению устойчивости выработок. На шахтах компании «ДТЭК Павлоградуголь» для повышения устойчивости капитальных и основных подготовительных выработок применяется тампонаж закрепного пространства, что предполагает использо-

вание твердеющих материалов – тампонажных растворов и торкрет-бетонных смесей.

В целях совершенствования конструкции металлической рамной крепи перспективна замена традиционной железобетонной затяжки слоем набрызг-бетона, укладываемого на металлическую сетчатую затяжку. Механизация этой операции увеличивает темпы проведения выработки, позволяет существенно повысить качество работ, работоспособность крепи, т. е. обеспечивает длительную устойчивость капитальных выработок. Эффективное выполнение тампонажа выработок и использование набрызг-бетонных технологий возможно только при своевременной доставке значительного объема материалов для приготовления твердеющих смесей: цемента, песка, глины, мелко-го щебня.

В Национальном горном университете совместно с инженерно-техническими работниками ПСП «Шахта им. Героев космоса» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» разработана технология, в соответствии с которой для твердеющих материалов вместо песка и щебня используется измельченная пустая порода, оставшаяся от проведения выработок. В результате для приготовления бетонов и растворов в шахту необходимо опускать гораздо меньшее количество материалов. При этом пустую породу не поднимают на поверхность, а измельчают на специальных дробильных комплексах и используют для приготовления твердеющих материалов. При разработке элементов технологии выполнен комплекс исследований, отдельные результаты которых опубликованы в работах [2–7].

Для проведения лабораторных исследований по определению рациональных составов твердеющих смесей были использованы цемент марки ПЦ I-500-Н, природный кварцевый песок, а также порода из выработок шахты им. Героев космоса. Породы, предоставленные для проведения экспериментов, представляют собой смесь аргиллитов и алевролитов. На первом этапе был подобран гранулометрический состав породного заполнителя для тампонажных и торкрет-бетонных смесей. Рекомендуемый состав заполнителя приведен в табл. 1.

В ходе проведения исследований определены оптимальные соотношения исходных компонентов (кварцевого песка и измельченной в щековой дробилке породы), используемых в качестве

Таблица 1

Заполнитель	Содержание фракций, %, размерами, мм		
	< 1,6	1,6–5	5–10
Мелкий	43	32	25
Оптимальный	37	33	30
Крупный	30	36	34

Таблица 2

Порода	Содержание фракций, %, размерами, мм		
	0–1,6	1,6–5	5–10
Аргиллит (I)	29,97	32,81	37,22
Алевролит (II)	22,75	34,29	42,96
Смесь пород (I+II)	38,42	28,33	33,25

заполнителя. Распределение измельченных пород по фракциям приведено в табл. 2.

Фракцию размерами менее 1,6 мм применяли в качестве мелкого заполнителя для тампонажных смесей. Тампонажным смесям с измельченной шахтной породой требуется большее количество воды, чем для смесей, содержащих минимальное количество песка и 0,06 % суперпластификатора. Как показали опытные испытания, суперпластификатор с мелкоизмельченным породным заполнителем не работает.

Кроме того, рассмотрено несколько рецептов тампонажных и торкрет-бетонных составов с использованием породы, для определения их свойств изготовлены бетонные образцы (рис. 1). Предел прочности образцов на сжатие устанавли-



Рис. 1. Образцы для испытания тампонажных и торкрет-бетонных составов.

Таблица 3

№ п/п	Состав	В/Т	Прочность при сжатии тампонажных материалов, МПа, в возрасте, сут			
			7	14	21	28
1	Цемент : песок : порода = 1 : 3 : 0*	0,19	11,15	–	13,02	16,74
2	Цемент : песок : порода = 1 : 2 : 1	0,25	7,89	9,45	11,45	12,49
3	Цемент : песок : порода = 1 : 1,5 : 1,5	0,23	10,0	12,47	14,33	15,08
4	Цемент : песок : порода = 1 : 1 : 2	0,23	12,10	13,62	17,21	17,68
5	Цемент : песок : порода = 1 : 1 : 3	0,25	–	5,57	6,54	7,00
6	Цемент : песок : порода = 1 : 0 : 3	0,40	3,10	–	5,06	5,93
7	Цемент : песок : порода = 1 : 0 : 4	0,35	–	4,29	4,37	4,65

Примечания: 1. Звездочкой обозначен контрольный образец. 2. В/Т – водотвердое отношение (для тампонажных растворов, где использована порода фракций 0–1,6 мм).

ливали на прессе Tecnotest («Модена», Италия). Физико-механические характеристики тампонажных материалов даны в табл. 3.

Согласно полученным результатам наиболее прочен состав цемент : песок : порода = 1 : 1 : 2 (выделен цветом в табл. 3), прочность при сжатии которого в возрасте 28 сут составляет 17,68 МПа, тогда как контрольный состав цемент : песок : порода = 1 : 3 : 0 имеет приблизительно такую же прочность при сжатии – 16,74 МПа.

В комплекс работ по тампонажу закрепного пространства входит операция по пикотажу швов железобетонной затяжки, которую для повышения производительности и качества работ целесообразно выполнять механизированным способом – с помощью установки АС-1.

При подборе составов торкрет-бетонных смесей использовали фракции породы 1,6–5 и 5–10 мм. Поскольку, как показали лабораторные исследования, наличие в сырьевой смеси фракции менее 1,6 мм значительно ухудшает ее технологические свойства, добавляли песок с модулем

крупности 1,26. Прочностные характеристики торкрет-бетона представлены в табл. 4.

В результате замены в составе бетонной смеси двух частей кварцевого песка соответствующим количеством измельченных пород крупностью частиц 1,6 мм и более у образца № 3 достигается (см. табл. 4) максимальная прочность по сравнению с рассмотренными вариантами. Для условий шахты им. Героев космоса предложены два состава торкрет-бетона, в которых соотношение цемент : песок : порода равно 1 : 1 : 2 и 1 : 0,55 : 2,45. Эти составы имеют наибольшую из рассмотренных вариантов прочность на одноосное сжатие (18,65 и 16,67 МПа соответственно) и изгиб (5,02 и 4,65 МПа соответственно). Результаты исследования реологических свойств тампонажного раствора представлены в работах [5, 7].

Для измельчения пород авторы предложили технологическую схему дробления (рис. 2), включающую следующие этапы и оборудование. Порода размерами кусков 300 × 300 мм по скважине загружается в приемную воронку. С помощью

Таблица 4

№ п/п	Состав	В/Ц	Прочность при сжатии торкрет-бетонных образцов, МПа, в возрасте, сут			
			7	14	21	28
1	Цемент : песок : порода = 1 : 3 : 0*	0,4	11,15	14,02	15,40	16,74
2	Цемент : песок : порода = 1 : 1,11 : 1,89	0,5	14,37	15,60	17,01	18,32
3	Цемент : песок : порода = 1 : 1 : 2	0,45	16,82	17,38	18,20	18,65
4	Цемент : песок : порода = 1 : 0,75 : 2,25	0,5	–	13,93	17,60	18,13
5	Цемент : песок : порода = 1 : 0,55 : 2,45	0,5	13,40	13,97	14,57	16,67
6	Цемент : песок : порода = 1 : 0 : 3	0,55	–	8,09	9,69	9,86

Примечания: 1. Звездочкой обозначен контрольный образец. 2. В/Ц – водоцементное отношение (для торкрет-бетонных растворов).

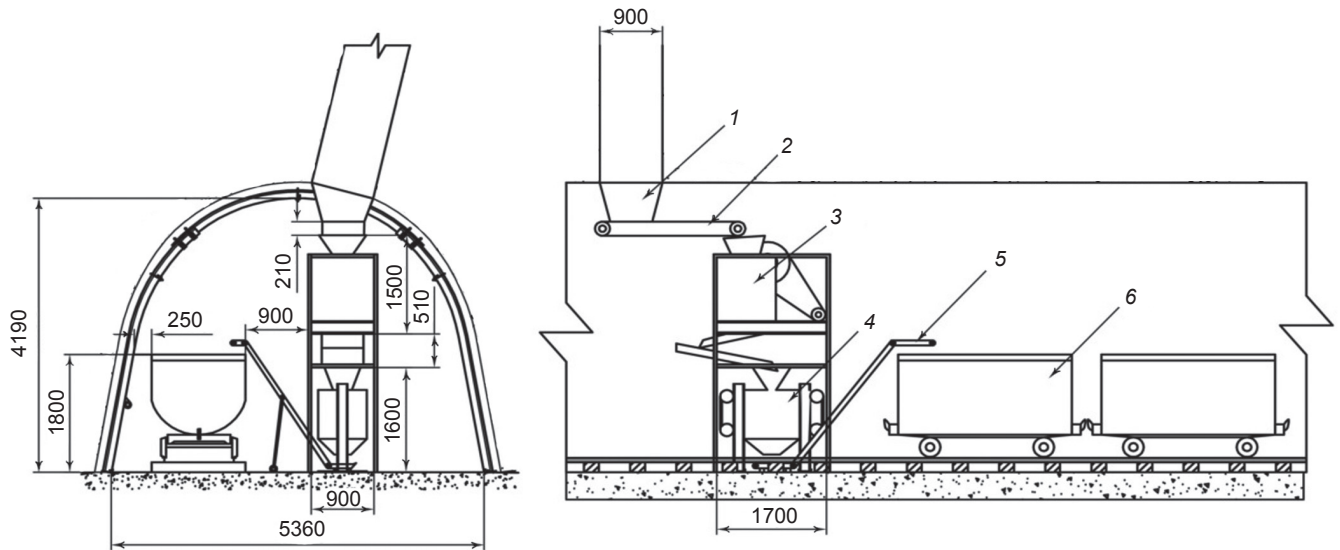


Рис. 2. Технологическая схема дробления породы в шахте: 1 – приемная воронка; 2 – пластинчатый питатель; 3 и 4 – дробилки щековая ДЩ-350-400 и валковая ДВ-270-200; 5 – транспортер жолобообразный ЛТ; 6 – пустая вагонетка ВГ-3,3.

пластинчатого питателя она подается в щековую дробилку ДЩ-350-400, где дробится до фракций размерами 5–25 мм, а затем – в валковую дробилку ДВ-270-200, где измельчается до фракций размерами 0,05–5 мм и загружается в мешки или пустые вагонетки.

Крепление и тампонаж капитальных горных выработок тампонажным раствором и торкрет-бетоном выполнялись с помощью насоса НБ-50, растворосмесителя на базе вагонетки ВГ-3,3 с активатором и торкрет-установки АС-1. К месту приготовления смеси измельченную породу доставляли в вагонетках. Торкретирование осуществляли «сухим» способом (рис. 3, 4).

Использование торкрет-бетонных смесей при механизированном пикетаже железобетонной затяжки на экспериментальном участке капитальной выработки шахты показало хорошие результаты. Спустя три месяца после торкретирования трещины не наблюдались, зафиксирована хорошая адгезия с железобетонной затяжкой и элементами крепи, покрытие служит антикоррозийной оболочкой для металлических элементов крепи. В ходе обследования экспериментального участка выработки установлено, что предложенная технология и состав торкрет-бетона с использованием шахтной породы имеют перспективы для внедрения на шахтах со сложными горно-



Рис. 3. Процесс нанесения торкрет-бетонного состава с породным заполнителем.



Рис. 4. Вид торкрет-бетонного покрытия на основе использования измельченной породы.

геологическими условиями и проблемами, связанными с доставкой строительных материалов к участкам по проходке и ремонту выработок.

Длина горной выработки, в которой были выполнены работы по торкретированию и упрочнению приконтурного массива пород тампонажным раствором с использованием пустых пород, составила 630 м, площадь поперечного сечения – 17,7 м². Объем торкрет-бетона, нанесенного на стенки выработки, – 0,125 м³ на 1 м длины выработки, при этом 113 кг песка заменили породой, объем тампонажного раствора, закачиваемого в приконтурный породный массив, – 1,8 м³ на 1 м длины выработки, причем 1660 кг песка можно заменить пустой измельченной породой.

Таким образом, общее количество пустой породы, которая требуется для приготовления торкрет-бетона и тампонажного раствора, составляет 1773 кг на 1 м длины выработки, что позволяет сэкономить средства при закупке песка, снизить транспортные расходы на перевозку породы в отвалы и сохранить запланированные для них площади.

Кроме того, тампонаж закрепного пространства с применением твердеющих смесей используют при ремонте и перекреплении капитальных выработок. Протяженность участков составляет 1,2 км в год, т. е. только на одной шахте протяженность выработок, где можно для ремонта применять твердеющие смеси на основе пустой породы, составит 6,7 км в год, тогда как по шахтам ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» – 65–67 км в год.

Другим направлением повышения устойчивости капитальных выработок предполагается применение набрызг-бетона толщиной до 15 см. При данной толщине крепи объем его применения составит 1,7 м³ на 1 м длины выработки с заполнителем из породы в количестве 2000 кг.

Вмещающие породы на всех шахтах Западно-Донбасса представлены в основном аргиллитами и алевролитами (75–80 %), качество которых достаточно для приготовления требуемого объема твердеющих смесей.

Выводы. Результаты исследовательских и опытных работ, выполненных на ПСП «Шахта им. Героев космоса», показали, что использование измельченных шахтных пород (аргиллиты и алевролиты) для замены части песка, глины и мелкого щебня при производстве тампонажных растворов, торкрет- и набрызг-бетонных смесей технологически целесообразно, экономи-

чески эффективно и имеет большие перспективы для повышения устойчивости выработок.

Преимущества разработанной технологии использования пустых пород:

- *экологические* – снижение опасного влияния на окружающую среду за счет сокращения выбросов вредных газов и пыли, что уменьшает негативное влияние на природный ландшафт территорий, занимаемых породными отвалами и карьерами;
- *экономические* – эффективное использование земельных и природных ресурсов (строительные материалы – песок, щебень, глина), уменьшение расходов на закупку материалов, транспортных расходов на перевозку промышленных отходов и строительных материалов;
- *социальные* – благотворное влияние на состояние здоровья людей, проживающих вблизи горнодобывающих предприятий (карьеры и шахты);
- *технологические* – своевременное обеспечение необходимыми материалами работ по креплению и тампонажу, снижение грузопотока по стволу и протяженным выработкам, повышение сохранности подземных выработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кроїк Г. А. Оцінка токсичності і класу небезпеки відвальних шахтних порід Західного Донбасу / Г. А. Кроїк, В. І. Демура, О. М. Вінокурцева, Т. Д. Азанова-Фролова // Вестн. Днепропетров. ун-та. Геология, география. – 2011. – Т. 19, № 3/2. – С. 75–78.
2. Коваленко В. В. Особенности использования шахтной породы в качестве замены части заполнителя при приготовлении торкрет-бетона / В. В. Коваленко, В. С. Гаркуша // Уголь Украины. – 2014. – № 12. – С. 38–42.
3. Коваленко В. В. Исследование физико-механических характеристик торкрет-бетонных составов на основе пустой породы / В. В. Коваленко, В. С. Гаркуша // Форум горняков: материалы междунар. конф. – Днепропетровск: Лизунов Пресс, 2014. – Т. 2. – С. 130–138.
4. Коваленко В. В. Исследование влияния золы-уноса на прочностные показатели породобетона / В. В. Коваленко, В. С. Гаркуша, П. А. Бакум // Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2014. – Вип. 2. – С. 141–149.
5. Гаркуша В. С. Торкрет-бетонні суміші на основі відходів добування кам'яного вугілля для кріплення гірничих виробок / В. С. Гаркуша // Наук. вісн. НГУ. – 2015. – № 3. – С. 17–23.
6. Солодянкин А. В. Тампонажные и торкрет-бетонные смеси для крепления капитальных выработок угольных шахт / А. В. Солодянкин, М. А. Выгодин, В. В. Коваленко // Гірнич. вісн. Криворіз. нац. ун-ту. – 2015. – Вип. 39. – С. 111–116.
7. Гаркуша В. С. Исследование реологических свойств тампонажных растворов на основе шахтных пород / В. С. Гаркуша // Розробка родовищ: наук.-техн. зб. НГУ. – 2015. – С. 389–394.