

УДК 622.257.1

А.В. СОЛОДЯНКИН, д-р техн. наук, проф.,
М.А. ВЫГОДИН, В.В. КОВАЛЕНКО, кандидаты техн. наук, доц.,
В.С. ГАРКУША, А.З. ПРОКУДИН, аспиранты
ГВУЗ «Национальный горный университет»

ТАМПОНАЖНЫЕ И ТОРКРЕТ-БЕТОННЫЕ СМЕСИ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Предложено комплекс мероприятий относительно технологии подземной переработки шахтных пород Западного Донбасса. Приведено анализ строительных смесей, опыт использования которых имел место на шахтах Западного Донбасса. Выполнен подбор гранулометрического состава тампонажных и торкрет-бетонных материалов на основе шахтных пород исходя из классических рекомендаций для тяжелых бетонов. Сделаны выводы относительно степени дробимости использованных пород и приведены данные относительно выхода каждой фракции в процентах по массе. Выполнено подбор рациональных составов тампонажных и торкрет-бетонных смесей на основе слабых шахтных пород. Исследованы реологические свойства тампонажных смесей и физико-механические свойства тампонажного и торкрет-бетонного камня. Сделаны выводы о преимуществах и недостатках тампонажных и торкрет-бетонных смесей на основе шахтных пород по сравнению с ранее использованными материалами (цементно-песчаный раствор, ангидрит, фосфогипс). Оценка качества тампонажных растворов на основе шахтных пород проводилась по степени устойчивости к процессу седиментации, прокачиваемости насосными установками, водоудерживающей способности. Получены закономерности относительно кинетики твердения тампонажных и торкрет-бетонных материалов. Даны рекомендации относительно оптимальных составов тампонажных и торкрет-бетонных смесей.

Ключевые слова: тампонаж, торкрет-бетон, шахтная порода, плотность, прочность при сжатии, прочность при изгибе

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В рамках программы развития угольной промышленности Украины на период до 2030 года, уровень добычи угля на шахтах Западного Донбасса будет значительно повышаться. В связи с этим необходимо разработать комплекс мероприятий по обеспечению надежного и эффективного выполнения всех операций технологического цикла. Одним из главных направлений повышения эффективности горных работ является совершенствование технологий проведения, крепления и поддержания протяженных горных выработок, а также поиск решений, которые позволят минимизировать затраты на выполнение данных технологических операций.

Анализ исследований и публикаций. Известно, что около 70% угольных шахт Западного Донбасса, не смотря на небольшую глубину ведения работ, по комплексному показателю условий разработки относятся к категориям больших глубин [1]. Зачастую это связано с наличием ряда различных осложняющих факторов, основным из которых являются слабые, неустойчивые вмещающие породы [2].

При проходке выработок в данных условиях очень тяжело обеспечить их устойчивость на весь период эксплуатации с помощью одного какого-либо типа крепи, из-за этого возникает необходимость применения комбинированного крепления.

Для долговременного обеспечения устойчивости и безремонтного поддержания выработок в тяжелых горно-геологических условиях Западного Донбасса в качестве основного и наиболее эффективного типа комбинированного крепления используют рамную крепь арочной формы с тампонажем закрепного пространства (ТЗП) [3].

Данная технология была разработана и получила широкое распространение еще в 70-х годах прошлого века [4,5]. На данный момент условия разработки угольных месторождений значительно ухудшились (увеличилась глубина разработки, в большей степени, для выработок подвергающихся под- и надработке и т.д.). В связи с этим оптимизация технологических параметров возведения крепления с ТЗП является актуальной задачей и в настоящее время.

Постановка задачи. На многих шахтах Западного Донбасса применяется следующая технология крепления горных выработок: в качестве опалубки при ТЗП используются межрамные ж/б затяжки. Для герметизации щелей между рамами и затяжкой, а также между смежными затяжками выполняются пикотажные работы цементным раствором.

Данная операция выполняется вручную и является довольно трудоемким длительным процессом и, как следствие, ТЗП значительно отстает от проходческого забоя. При рассматриваемой технологии это чревато деформациями затяжки и элементов крепи (рис. 1), что в дальней-

шем усложняет, а в некоторых местах делает невозможным проведение пикотажа без дополнительных ремонтных работ.

Поэтому нами предложен комплекс мероприятий, включающий процесс торкретирования, который позволит механизировать данную операцию. Применение упомянутой технологии позволит значительно повысить скорость выполнения тампонажных и пикотажных работ, и даст возможность сократить расстояние проведения ТЗП от забоя выработки [6,7].

Изложение материала и результаты. При проведении тампонажных и торкрет-бетонных работ применяют различные твердеющие и быстротвердеющие смеси. Они различны по используемым сырьевым компонентам, гранулометрическому составу и соотношению компонентов смеси. Выбор сырьевых компонентов во многом зависит от принятой технологии проведения работ. Так для гидромеханического способа нанесения больше подходят медленно твердеющие смеси, так как в этом случае нет опасности, что смесь схватится в шлангах бетономашины во время проведения технологической операции, тогда как при пневматическом способе использование быстротвердеющих смесей более приемлемо.



Рис.1. Деформация межрамных затяжек

На шахтах Западного Донбасса существует опыт использования быстротвердеющих смесей на основе гипсо-ангидритового и фосфогипсового вяжущего [8,9]. Использование этих компонентов имеет определенные сложности связанные как со свойствами самой смеси, так и со свойствами готового материала.

При нанесении материала пневматическим способом возникают трудности со смачиванием порошкообразного вещества (ангидрита, фосфогипса) в сопле установки, так как из-за большой удельной поверхности (1200 г/см^2) требуется большее количество воды, чем при использовании традиционного цементно-песчаного раствора.

Недостаток воды приводит к неоднородности материала, нанесенного на стены выработки, к значительным потерям и пылеобразованию, что ухудшает санитарно-гигиенические условия труда.

Устранить этот недостаток можно только введением в смесь гранулированного шлака металлургического производства, поскольку использование природного кварцевого песка является нежелательным, так как приводит к увеличению затрат на сырьевые компоненты смеси.

С другой стороны использование песка в качестве заполнителя приводит к повышению прочностных характеристик готового материала, а прочность при сжатии может достигать 16-28 МПа.

Готовый материал на основе смешанного гипсо-ангидритового вяжущего и гранулированного шлака обладает низкой прочностью: в возрасте 7 суток прочность при сжатии составляет 3,4-3,8 МПа, при изгибе - не более 3,0 МПа; в возрасте 28 суток прочность при сжатии - 4,7-7,45 МПа, при изгибе - 3,1-4,7 МПа. Также данный материал чувствителен к воздействию воды – во

влажном состоянии прочность при сжатии составляет 2,1-4,23 МПа, коэффициент размягчения 0,11-0,52, водопоглощение - 19,7-34,9%.

Ангидритовые и фосфогипсовые вяжущие вещества не являются дефицитным и дорогостоящим сырьем, однако из-за ряда недостатков они не нашли широкого применения на шахтах Донбасса.

При подборе состава твердеющей смеси и ее сырьевых компонентов следует учитывать не только ее реологические и физико-механические свойства и свойства готового материала, но и объем затрат на покупку сырьевых материалов, их доставку на горнодобывающее предприятие и непосредственно к месту проведения тампонажных и торкрет-бетонных (набрызгбетонных работ) и т.п.

На шахтах Донбасса и за рубежом также широко применяются твердеющие смеси на основе различных отходов промышленности: золы ТЭС, гранулированные и гидравлически активные шлаки металлургических комбинатов [10,11], горелые породы угольных шахт.

В зарубежной практике в качестве сырьевых компонентов широко применяют тонкоизмельченный стеклянный бой, который способен вступать в реакцию с цементными новообразованиями [12,13].

В связи с этим нами была исследована возможность использования смеси пород шахты им. Героев Космоса ПАО ДТЭК «Павлоградуголь» в качестве мелкого и крупного заполнителя для тампонажных и торкрет-бетонных (набрызгбетонных) смесей.

Использованные породы представлены смесью аргиллитов и алевролитов.

В ходе проведения исследований также применялся цемент ПЦ I M500 и природный кварцевый песок с модулем крупности 1,26.

Цель работы. Определение реологических и физико-механических свойств тампонажных и торкрет-бетонных смесей, приготовленных с использованием пустых пород угольных шахт в качестве мелкого и крупного заполнителя.

Задачи исследования. 1. Исследовать возможность максимального использования пустой породы в качестве заполнителя взамен природного кварцевого песка.

2. Подобрать оптимальный гранулометрический состав мелкого и крупного заполнителя для тампонажных и торкрет-бетонных смесей.

3. Экспериментально определить реологические свойства тампонажных смесей и прочностные показатели тампонажного камня.

4. Экспериментально определить прочностные показатели торкрет-бетонных материалов.

На первом этапе проведения исследований был осуществлен подбор гранулометрического состава породного заполнителя как для тампонажных, так и для торкрет-бетонных материалов.

Использовались классические рекомендации для обычных тяжелых бетонов, т.е. такой гранулометрический состав, который обеспечивает минимальное количество пустот и, следовательно, минимальный расход вяжущего вещества.

Рекомендуемый состав заполнителя представлен в табл. 1.

Таблица 1

Рекомендуемый состав заполнителя

Тип заполнителя	Содержание фракций в крупности заполнителя, %		
	менее 1,6 мм	1,6 – 5 мм	5 – 10 мм
Мелкий	43	32	25
Оптимальный	37	33	30
Крупный	30	36	34

Процесс дробления осуществлялся в лабораторной щековой дробилке. В ходе дробления стало очевидно, что наблюдается большой выход фракции менее 1,6 мм и достаточно равномерный выход фракций 1,6-5 мм и 5-10 мм.

Это связано с низкой прочностью данных пород, которая согласно исследованиям [14,15] не превышает 15-16 МПа. Выход продуктов измельчения по фракциям представлен в табл. 2.

Таблиця 2

Выход продуктов измельчения по фракциям

Аргиллит, %			Алевролит, %			Ординарная смесь пород, %		
0-1,6 мм	1,6-5 мм	5-10 мм	0-1,6 мм	1,6-5 мм	5-10 мм	0-1,6 мм	1,6-5 мм	5-10 мм
29,97	32,81	37,22	22,75	34,29	42,96	38,42	28,33	33,25

Фракция менее 1,6 мм применялась в качестве мелкого заполнителя для тампонажных смесей. Тампонажные смеси с большим содержанием измельченной шахтной породы являются более однородными и устойчивыми к процессу седиментации. Однако для получения смесей с требуемыми реологическими свойствами необходимо большее количество воды, чем для смесей содержащих хотя бы минимальное количество песка и 0,06% суперпластификатора, т.к. в ходе работы стало очевидно, что суперпластификатор не работает с мелкоизмельченным породным заполнителем, поскольку измельченная порода поглощает его вместе с водой затворения. Реологические свойства исследованных тампонажных смесей представлены в таблице 3.

Таблиця 3

Реологические свойства тампонажных смесей

Состав	В/Т	Расплав, см	Плотность раствора, кг/м ³	Структурная вязкость, η, гс×с/см ²
1. Цемент : Песок : Порода = 1 : 0 : 3	0,45 СП	19	1730	0,045
2. Цемент : Песок : Порода = 1 : 2 : 1	0,4	22	1850	0,04
3. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1,5 : 1,5	0,35 СП	18	1780	0,053
4. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2	0,35 СП	18	1800	0,033
5. Цемент : Песок : Порода = 1 : 0 : 4	0,55	18,5	1710	0,037
6. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 3	0,55	22	1750	0,03

Примечание: СП – суперпластификатор в количестве 0,06% от количества цемента

Физико-механические характеристики тампонажных материалов представлены в табл. 4. Кинетика твердения тампонажных материалов представлена на рис. 1

Таблиця 4

Физико-механические характеристики тампонажных материалов

Состав	В/Т	Плотность материала, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа			
			7 суток	14 суток	21 сутки	28 суток
1. Цемент : Песок : Порода = 1 : 0 : 3	0,4	2030	3,1	-	5,06	5,93
2. Цемент : Песок : Порода = 1 : 3 : 0	0,19	1845	11,15	-	13,02	16,74
3. Цемент : Песок : Порода = 1 : 2 : 1	0,25	2200	7,89	9,45	11,45	12,49
4. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1,5 : 1,5	0,23	1795	10,0	12,47	14,33	15,08
5. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2	0,23	1910	12,1	13,62	17,21	17,68
6. Цемент : Песок : Порода = 1 : 0 : 4	0,35	1846	-	4,29	4,37	4,65
7. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 3	0,25	1787	-	5,57	6,54	7,0

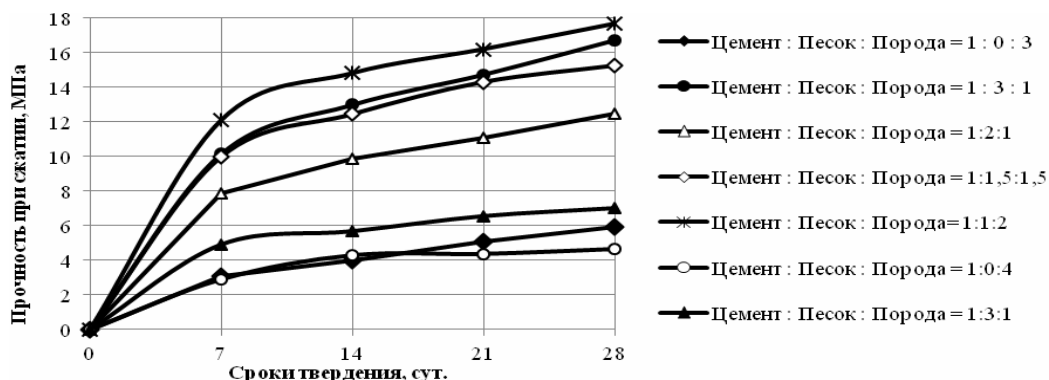


Рис. 2. Кинетика твердения тампонажных материалов

Из полученных результатов следует, что наибольшей прочностью и плотностью обладает состав Цемент : Песок : Порода = 1:1:2, прочность при сжатии в возрасте 28 суток составляет 17,68 МПа, плотность 1910 кг/м³ готового материала, тогда как контрольный состав

Цемент:Песок:Порода = 1:3:0 имеет приблизительно такие же характеристики: прочность при сжатии в возрасте 28 суток составляет 16,74 МПа, плотность готового материала 2030 кг/м³.

Поэтому оптимальным составом является состав Цемент:Песок:Порода = 1:1:2, поскольку обладает максимальными прочностными показателями и значительно большим расходом измельченной шахтной породы.

Предлагаемый комплекс мероприятий предполагает использование металлической арочной крепи из взаимозаменяемого профиля СВП и железобетонной затяжки с последующими пикотажными работами (торкретирование) и тампонажем закрепного пространства.

В настоящее время пикотажные работы выполняются вручную, что является процессом длительным и трудозатратным.

Поэтому наряду с тампонажными материалами на основе цемента, песка и шахтной породы был выполнен подбор составов торкрет-бетонных материалов для механизированного способа нанесения.

Для торкрет-бетонных материалов использовались фракции породы 1,6-5 мм и 5-10 мм.

Фракция менее 1,6 мм не использовалась, поскольку ее присутствие в сырьевой смеси значительно ухудшает технологические свойства смеси.

Вместо фракции менее 1,6 мм использовался песок с модулем крупности 1,26.

Физико-механические характеристики торкрет-бетона представлены в табл. 5.

Таблица 5

Физико-механические характеристики торкрет-бетона

Состав	В/Ц	Прочность при сжатии, МПа				Прочность на изгиб, МПа
		7 суток	14 суток	21 сутки	28 суток	
1. Цемент : Песок : Порода = 1:3:0	0,4	11,15	14,02	15,4	16,74	-
2. Цемент : Песок : Порода = 1:1,11:1,89	0,5	14,37	15,6	17,01	18,32	4,7
3. Цемент : Песок : Порода = 1:1:2	0,45	16,82	17,38	18,8	19,87	5,44
4. Цемент : Песок : Порода = 1:0,75:2,25	0,5	-	13,93	17,6	18,13	4,82
5. Цемент : Песок : Порода = 1:0,55:2,45	0,5	13,4	13,97	14,57	16,67	4,65
6. Цемент : Песок : Порода = 1:0:3	0,55	-	8,09	9,69	9,86	3,41

Кинетика твердения торкрет-бетона представлена на рис.2.

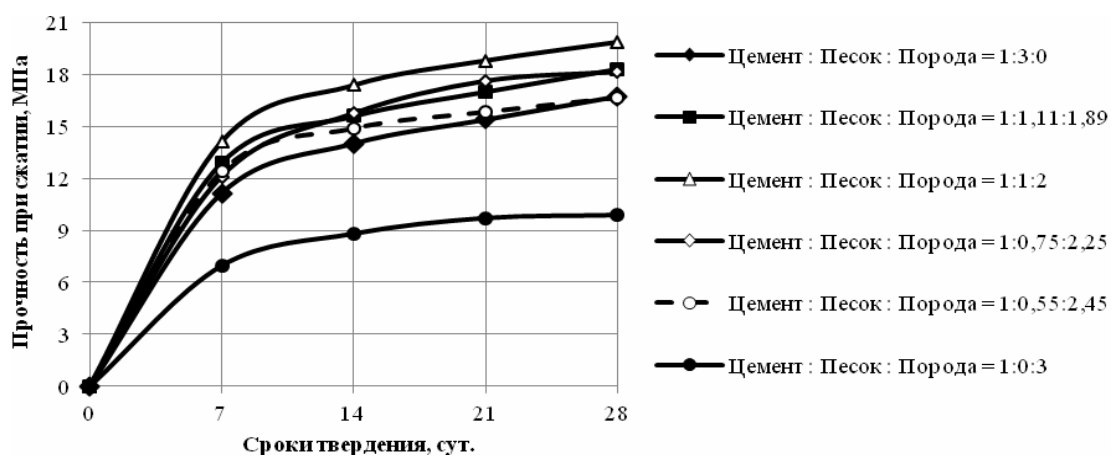


Рис. 3. Кинетика твердения торкрет-бетона

Из полученных результатов следует, что наиболее оптимальным является состав Цемент:Песок:Порода = 1:1:2, поскольку обладает хорошими технологическими свойствами и наилучшими прочностными показателями (прочность в возрасте 28 суток: при сжатии - 19,87 МПа, при изгибе 5,44 МПа).

Выводы и направление дальнейших исследований. Внедрение технологии подземной переработки шахтных пород и приготовление на их основе тампонажных и торкрет-бетонных смесей позволит:

1. Уменьшить затраты на закупку сырьевых компонентов для тампонажных и торкрет-бетонных смесей и на их доставку на горнодобывающее предприятие и непосредственно к месту проведения работ.
2. Разгрузить транспортную систему шахты – подъем ствола и транспортную сеть горизонтальных и наклонных выработок.
3. Уменьшить количество шахтных пород выдаваемых на поверхность.

В настоящее время предложенная технология внедряется на шахте им. Героев Космоса ПАО ДТЭК «Павлоградуголь». В дальнейшем будет проведена серия шахтных экспериментов с целью оценки эффективности и долговечности предложенных мероприятий.

Список литературы

1. **Мартовицкий А.В.** Геомеханические процессы при отработке угольных пластов струговыми комплексами в условиях шахт Западного Донбасса. Дисс. ... докт. техн. наук: 05.15.09. – Днепропетровск, 2012. – 215 с.
2. **Выгодин М.А.** Особенности деформирования слабометаморфизированных пород вокруг протяженных выработок шахт Западного Донбасса / **М.А. Выгодин, А.В. Солодянкин, Е.В. Масленников, А.В. Мартовицкий, Р.Е. Алтухов, В.В. Панченко** // Матеріали міжнар. конф. “Форум гірників - 2011”. – Дніпропетровськ, 2011. – С. 50-57.
3. **Солодянкин А.В.** Совершенствование технологии тампонажа закрепного пространства в сложных горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса / **А.В. Солодянкин, М.А. Выгодин, В.В. Коробченко, А.В. Смирнов, А.З. Прокудин** // Щорічний науково-технічний збірник “Розробка родовищ - 2014”. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 171-178.
4. **Максимов А.П., Евтушенко В.В.** Тампонаж горных пород. Москва: Недра, 1978. 180 с.
5. **Выгодин М.А.** Обоснование параметров армопородных грузонесущих конструкций на базе рамно-анкерных крепей и технология их сооружения в выработках шахт Западного Донбасса. Дисс...канд. техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 1990. – 215 с.
6. **Van Heerden, D.**, “Rock Support In Southern African Hard Rock Mines”, The Fourth Southern African Conference on Base Metals, pp.77-91
7. **Мазурак А.В.** Вплив технологічних чинників на міцність торкретбетону. / **А.В. Мазурак, Я.А. Балабух** // Теорія і практика будівництва [Текст] : [зб. наук. пр.] - Л. : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. - 331 с. : іл. - (Вісник / Національний університет «Львівська політехніка» ; № 655). - с. 164-167.
8. **Тарасенко В.В.** Промышленные испытания фосфогипсового вяжущего на шахтах / **В.В. Тарасенко, И.С. Шакин, И.Ю. Заславский** // Уголь Украины. – 1986. - № 2. – с. 12 – 15.
9. **Симанович Г.А.** Твердеющие смеси на основе фосфогипсового вяжущего для крепления и охраны горных выработок / **Г.А. Симанович, Э. И. Фрадкин** // Шахтное и подземное строительство. – 1991. - №11 - с.22-24.
10. **Sawozczuk, P., Nokken, M., Jolin, M.**, “Sustainable Shotcrete Using Blast-Furnace Slag”, Shotcrete, V.15, No4, 2013, pp.32-37.
11. **Hooton, R. D.**, “Canadian Use of Ground Granulated Blast-Furnace Slag as a Supplementary Cementing Material for Enhanced Performance of Concrete,” Canadian Journal of Civil Engineering, 2000, pp. 754-760.
12. **Fily-Paré, I., Jolin M.**, “The Use of Recycled Glass in Shotcrete”, Shotcrete, V.15, No4, 2013, pp.14-16.
13. **Schwarz, N., Neithalath, N.**, “Influence of a Fine Glass Powder on Cement Hydration: Comparison to Fly Ash and Modeling the Degree of Hydration,” Cement and Concrete Research, V. 38, No. 4, 2008, pp. 429-436.
14. **Халимендик Ю. М.** Применение породобетонных смесей для возведения шахтных конструкций / **Ю. М. Халимендик, Р. А. Южакова** // Уголь Украины. – 1994. - № 11. – с. 24 -26.
15. **Штумпф Г.Г.** Характер разрушения образцов пород и совершенствование методов определения их прочности. / **Штумпф Г.Г.** // Уголь Украины. – 1988. - № 6. – с. 10 – 12.

Рукопись поступила в редакцию 01.04.15