

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПВА-ЭМУЛЬСИИ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ПУСТЫХ ПОРОД

В.В. Коваленко, В.С. Гаркуша, Государственное ВУЗ «Национальный горный университет», Украина

Представлены результаты экспериментальных исследований реологических свойств тампонажных растворов на основе углевмещающих пород в чистом виде и модифицированных добавкой ПВА-эмульсии. Получены зависимости нарастания пластической прочности во времени для тампонажных растворов в чистом виде и с добавкой ПВА-эмульсии. Даны рекомендации относительно оптимального количества ПВА-эмульсии в составе тампонажных растворов на основе углевмещающих пород. Определены прочностные показатели готового тампонажного камня.

Введение. Одной из наиболее актуальных проблем угледобывающих регионов является большое количество пустых пород, поднимаемых на поверхность. Под породные отвалы отводятся большие земельные площади. Кроме того, наличие частиц угля в отвальных породах обуславливает так называемый процесс «тления», что создает серьезную экологическую угрозу для угледобывающих регионов. С другой стороны, при креплении горных выработок используется большое количество природных материалов (кварцевый песок, гранитный щебень и пр.), что требует затрат на их приобретение и доставку как на горнодобывающее предприятие, так и непосредственно к месту проведения тампонажных и торкрет-бетонных (набрызгбетонных) работ. Транспортная система шахты не всегда способна выдержать поток материальных ресурсов, которые необходимо либо опускать в шахту, либо поднимать на поверхность. В связи с этим, был предложен комплекс мероприятий, связанных с технологией подземной переработки пустых пород. В рамках предложенного комплекса мероприятий была исследована возможность использования углевмещающих пород Западного Донбасса в качестве мелкого заполнителя для тампонажных растворов.

Цель работы. Исследовать влияние ПВА-эмульсии на реологические свойства и процессы структурообразования тампонажных растворов на основе углевмещающих пород шахты им. Героев Космоса ПАО «ДТЕК Павлоградуголь».

Изложение основного материала. При проведении экспериментальных работ были использованы следующие сырьевые компоненты: цемент ПЦ I 500 Н, природный кварцевый песок, порода (смесь аргиллитов и алевролитов) измельченная до фракции менее 1,6 мм.

Использованный кварцевый песок относится к классу очень мелких, что следует из проведенного нами ситового анализа, модуль крупности данного песка составляет $M_k = 1,26$. Порода - смесь аргиллитов и алевролитов – относится к глинистым материалам, что подтверждается химическим составом этих пород [1]. Химический состав пород шахт Западного Донбасса представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав пород шахт Западного Донбасса

Шахты	п.п. п. %	Химический состав смешанных пород, %									
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	R ₂ O	Всего
Днепровская	9,42	60,20	16,2	7,06	0,96	0,78	1,75	0,63	0,55	2,40	99,95
Терновская	15,88	56,56	15,1	5,83	0,84	0,74	1,62	0,68	0,53	2,23	100
Самарская	7,7	63,61	15,6	6,20	0,85	0,60	1,66	0,70	0,80	2,30	100
Павлоградская	12,8	53,08	19,8	7,90	0,80	0,64	1,75	0,53	0,27	2,59	100
Западно-Донбасская	18,3	50,23	17,6	7,36	0,76	0,65	2,03	0,43	0,40	2,24	100
им. Героев Космоса	18,7	48,92	13,43	6,45	0,80	3,30	2,04	3,12	-	-	96,76

В ходе проведения лабораторных исследований были определены следующие свойства тампонажных растворов: расплыв, плотность раствора, структурная вязкость, седиментационная устойчивость, прочность при сжатии тампонажного камня. Реологические свойства тампонажных растворов определялись по общепринятым рекомендациям [2, 3]. Расплыв определялся с помощью конуса АзНИИ, структурная вязкость с помощью прибора СНС-2, плотность раствора определялась с помощью ареометра АГ-3ПП. Реологические свойства исследованных тампонажных растворов представлены в таблице 2. Физико-механические характеристики тампонажных материалов в таблице 3.

Таблица 2

Реологические свойства тампонажных растворов

Состав	В/Т	Расплыв, см	Плотность раствора, кг/м ³	Структурная вязкость, Па
1. Цемент : Песок : Порода = 1 : 0 : 3	0,45 СП	19	1730	45
2. Цемент : Песок : Порода = 1 : 2 : 1	0,4	22	1850	40
3. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1,5 : 1,5	0,35 СП	18	1780	53
4. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2	0,35 СП	18	1800	33
5. Цемент : Песок : Порода = 1 : 0 : 4	0,55	18,5	1710	37
6. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 3	0,55	22	1750	30

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

Таблица 3

Физико-механические характеристики тампонажных материалов

Состав	В/Т	Плотность материала, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа			
			7 сут.	14 сут.	21 сут.	28 сут.
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	11,2	-	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

Полученные результаты показали, что наиболее рациональным является состав Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2, т.к. тампонажная смесь такого состава обладает меньшей вязкостью и плотностью смеси, по сравнению с традиционно используемым цементно-песчаным раствором. Для достижения достаточной текучести (расплыв 18 – 22 см) состава Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2 необходимо меньшее количество воды затворения, чем для смесей имеющих в своем составе большее количество измельченной глинистой породы и меньшее количество песка. Кроме того, введение суперпластификатора в сырьевую смесь, которая вообще не содержит природный кварцевый песок и единственным наполнителем является тонкоизмельченная порода не целесообразно, поскольку порода впитывает суперпластификатор вместе с водой затворения. Однако если речь идет о трехкомпонентных смесях (цемент, песок, порода), тогда введение суперпластификатора позволяет достичь необходимого расплыва тампонажной смеси и уменьшить количество воды затворения, что в конечном итоге положительно влияет на прочностные показатели тампонажного камня [4, 5]. Также смеси, содержащие измельченную породу и минимальное количество песка, являются устойчивыми к процессу седиментации в отличие от цементно-песчаных растворов, которые требуют постоянного перемешивания.

Однако при проведении тампонажных работ очень важно знать не только параметры смеси, которые в конечном итоге определяют прокачиваемость смеси растворонасосами и ее

проникающую способность, но и как быстро нарастает прочность структуры тампонажного камня. Этот процесс описывается таким параметром как пластическая прочность. Пластическая прочность характеризует прочность структуры раствора при пластично-вязком разрушении, измеряется на приборе Вика по методу П.А. Ребиндера, усовершенствованному М.С. Винарским. Вместо иглы прибор снабжается комплектом конусов из стали, алюминия и органического стекла 30°, 45°, 60°, 90°. Пластическая прочность определяется по формуле P_m (Па):

$$P_m = K_\alpha \times \frac{F}{h^2} \quad (1)$$

где F – вес погружаемой системы, Н;

h – глубина погружения конуса в тампонажный раствор, м;

K_α – коэффициент, зависящий от угла конуса, определяется по формуле:

$$K_\alpha = \frac{1}{\pi} \cos^2 \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2} \quad (2)$$

где α – угол при вершине конуса.

При выполнении исследований были получены закономерности нарастания пластической прочности во времени для 2-х и 3-х компонентных тампонажных растворов. Полученные результаты подтвердили, что наиболее рациональным является состав Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2, т.к. этот состав обладает не только хорошими реологическими свойствами, но и обеспечивает достаточную прочность при сжатии - 17,68 МПа, что не уступает традиционному составу Цемент : Песок = 1 : 3 (16,74 МПа).

Результаты исследований представлены в таблице 4. Зависимость пластической прочности тампонажных растворов от времени твердения представлена на рис. 1.

Таблица 4

Пластическая прочность тампонажных растворов

Состав тампонажного раствора	Пластическая прочность, кПа						
	2 ч.	4 ч.	6 ч.	8 ч.	1 сут.	2 сут.	3 сут.
1. Цемент : Песок : Порода = 1 : 0 : 3	3,4	11	176	367	3183	12732	13932
2. Цемент : Песок : Порода = 1 : 2 : 1	4,2	9,8	313	468	1634	14706	15406
3. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1,5 : 1,5	5,3	16,7	291	366	1376	12387	12914
4. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2	-	6,4	293	311	2376	12387	13285
5. Цемент : Песок : Порода = 1 : 0 : 4	4,5	16,8	57,5	572	995	14141	15141
6. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 3	-	4,5	14,5	78,3	1887	12387	13196

Зависимость пластической прочности (P_m) от времени (t) для наиболее рационального состава тампонажного раствора (Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2) описывается следующим уравнением:

$$P_m = - 7,0528t^4 + 6,6626t^3 - 3,1523t^2 + 1,4t - 2,7689 \quad (3)$$

Из полученных данных относительно зависимости пластической прочности от времени следует, что наиболее интенсивный прирост пластической прочности наблюдается через 8 часов после затворения, что не ограничивает проведение тампонажных работ во времени. Однако это является не приемлемым, т.к. существует необходимость в том, чтобы процесс структурообразования тампонажного камня протекал быстрее. В связи с этим имеет смысл применять различные модифицирующие добавки, способные оказать влияние на скорость твердения раствора и качество готового тампонажного камня. Такими добавками могут быть жидкое стекло, хлористый кальций [6], хлорное железо, ПВА-эмульсия и т.п. В ходе проведенных нами исследований было определено влияние ПВА-эмульсии на свойства текучести тампонажного раствора и на процессы структурообразования тампонажного камня.

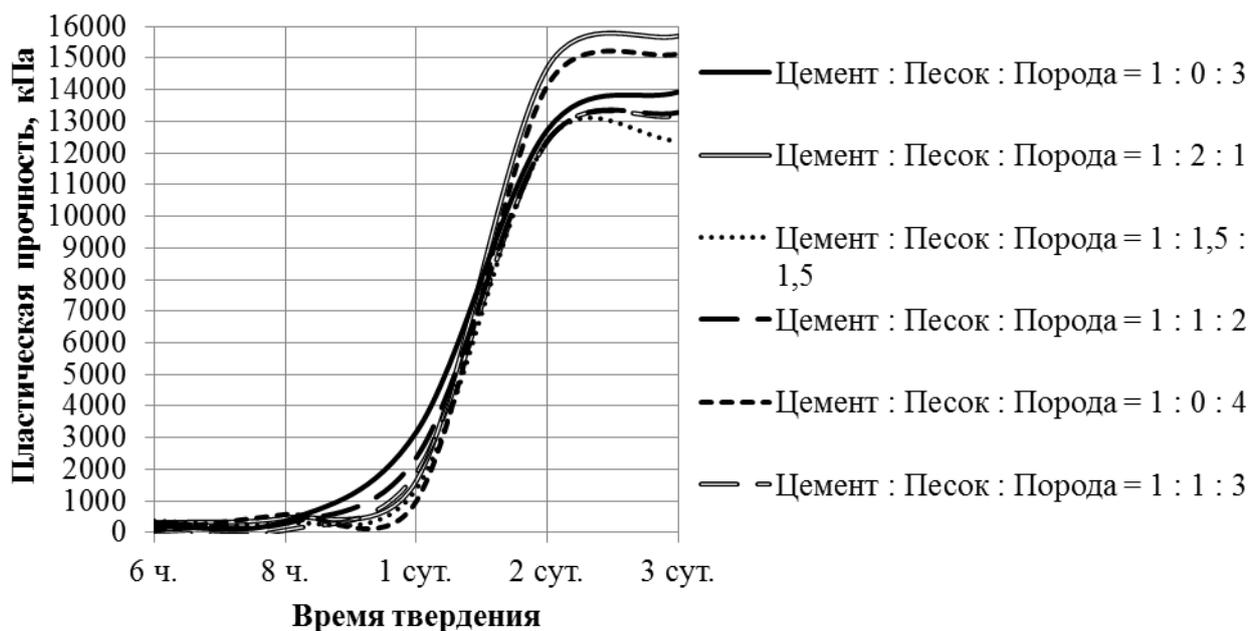


Рис.1. Зависимость пластической прочности тампонажных растворов от времени твердения

Реологические свойства тампонажных растворов рационального состава с добавкой ПВА-эмульсии представлены в таблице 5. Пластическая прочность тампонажных растворов с добавкой ПВА-эмульсии представлена в таблице 6.

Таблица 5

Реологические свойства тампонажных растворов рационального состава с добавкой ПВА-эмульсии

Состав	В/Т	Расплав, см	Плотность раствора, кг/м ³	Структурная вязкость, η, Па
1. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2	0,45 СП	19	1800	33
2. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2 + 3% ПВА-эмульсии	0,45 СП	18	1790	29
3. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2+ 5% ПВА-эмульсии	0,4 СП	19	1780	30
4. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2+ 7% ПВА-эмульсии	0,4 СП	22	1780	28
5. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2+ 10% ПВА-эмульсии	0,4 СП	20	1760	25
6. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2+ 12% ПВА-эмульсии	0,4 СП	22	1830	25
7. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2+ 15% ПВА-эмульсии	0,4 СП	18	1810	30
8. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2+ 20% ПВА-эмульсии	0,45 СП	22	1760	30

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

Из таблицы 5 следует, что введение добавки ПВА-эмульсии в состав тампонажных растворов на основе углевмещающих пород не имеет влияния на свойства жидкого раствора (расплав, структурная вязкость, плотность раствора). При изменении количества добавки

ПВА-эмульсии свойства текучести остаются неизменными. Однако при большом количестве добавки несколько увеличивается вязкость раствора, поскольку количество воды затворения было уменьшено на количество добавки, т.е. добавка учитывалась в качестве жидкой фазы. Пластическая прочность тампонажных растворов с добавкой ПВА-эмульсии представлена в таблице 6. Зависимость пластической прочности тампонажных растворов с добавкой ПВА-эмульсии от времени твердения представлена на рис.2.

Таблица 6

Пластическая прочность тампонажных растворов с добавкой ПВА-эмульсии

Состав тампонажного раствора	Пластическая прочность, кПа				
	6 ч.	8 ч.	1 сут.	2 сут.	3 сут.
1. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2	293	311	2376	12387	13285
2. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2 + 3% ПВА-эмульсии	12,53	78,3	1018,3	12732	13387
3. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2 + 5% ПВА-эмульсии	10,57	34,8	774,3	12387	14706
4. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2 + 7% ПВА-эмульсии	61,3	176,17	3097	12732	14706
5. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2 + 10% ПВА-эмульсии	16,71	44,5	3097	4500	12732
6. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2 + 12% ПВА-эмульсии	7,05	11,4	704,6	1995	10283
7. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2 + 15% ПВА-эмульсии	7,05	23,29	2291	12450	15383
8. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2 + 20% ПВА-эмульсии	14,4	16,68	572,8	6536	14706

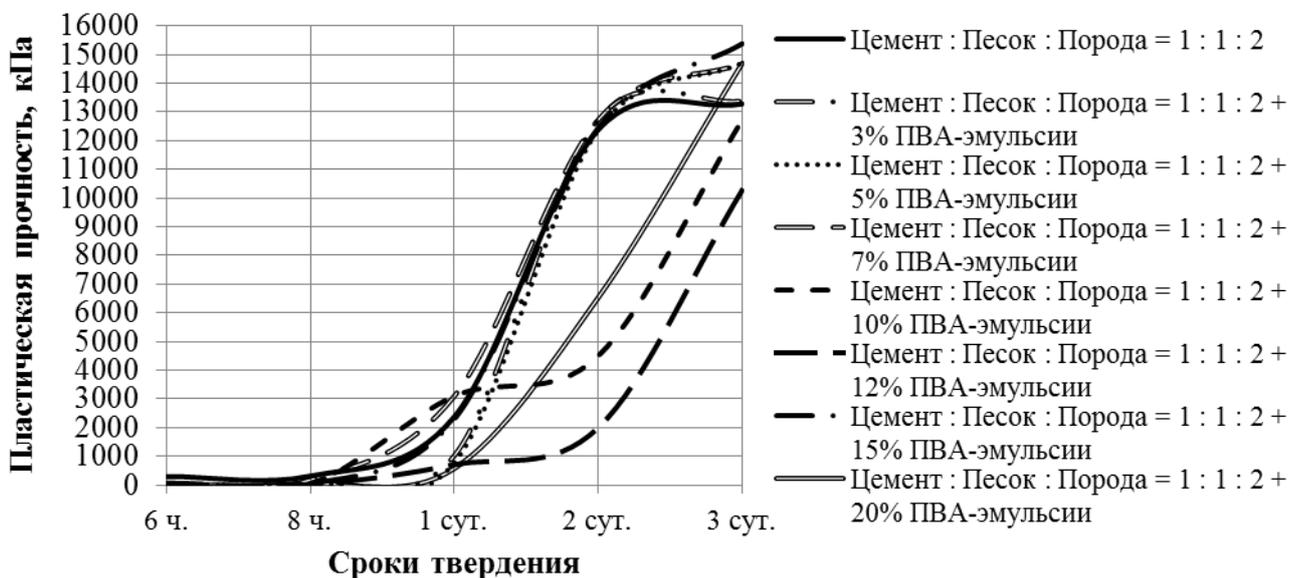


Рис.2. Зависимость пластической прочности тампонажных растворов с добавкой ПВА-эмульсии от времени твердения

Результаты исследований показали, что оптимальным количеством добавки ПВА-эмульсии является 15-20%, поскольку именно такое количество добавки ПВА-эмульсии обеспечивает наиболее интенсивное протекание процессов твердения тампонажного раствора. И, как следует из наших исследований [5], введение добавки ПВА-эмульсии не влияет на интенсивность протекания процессов структурообразования тампонажного камня,

однако положительно влияет на физико-механические показатели тампонажного камня – прочность при сжатии и изгибе.

Зависимость пластической прочности (P_m) от времени (t) для состава тампонажного раствора Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2 + 15 % ПВА-эмульсии описывается следующим уравнением:

$$P_m = - 3,283t^4 + 2,884t^3 - 7,496t^2 - 8,088t + 1,254 \quad (4)$$

Выводы. Использование тампонажных растворов на основе углевмещающих пород является эффективным, так как данные смеси практически не уступают повсеместно применяемому цементно-песчаному раствору по прочности при сжатии, а по способности прокачиваться растворонасосами, проникать в трещины породного массива и седиментационной устойчивости имеют ряд преимуществ. Однако для получения тампонажного камня более высокого качества целесообразно применять различные добавки – пластифицирующие или отошающие, ускорители схватывания и т.п. Это связано с низким качеством и неоднородностью используемых углевмещающих пород, а также достаточно большим количеством частиц каменного угля в породе, что также имеет нежелательный эффект как для свойств жидкого раствора, так и для прочности готового тампонажного камня.

Список литературы

1. Безазьян А.В., Павличенко Т.А., Чередниченко Т.И. Об использовании горных пород Западного Донбасса для производства строительных материалов // Уголь Украины. – 1981. – № 8. – С. 20.
2. Максимов А.П., Евтушенко В.В. Тампонаж горных пород. – М.: Недра. -1978.- 180 с.
3. Башлык С.М., Загибайло Г.Т., Зайонц О.Л. Лабораторный практикум по основам гидравлики и промывочным жидкостям. – М.: Недра. – 1982. – 156 с.
4. Коваленко В.В., Гаркуша В.С. Особенности использования шахтной породы в качестве замены части заполнителя при приготовлении торкретбетона // Уголь Украины. – 2014. - № 12. – С. 38 - 42.
5. Коваленко В.В., Гаркуша В.С. Исследование физико-механических характеристик торкрет-бетонных составов на основе пустой породы // Материалы международной конференции «Форум горняков-2014». Том 2. – Днепропетровск: ООО «Лизунов Пресс». – 2014. – С. 130-138.
6. Хямяляйнен В.А., Баев В.А. Оценка влияния отходов углеобогащения на физико-механические свойства тампонажных растворов и параметры технологии цементации // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск № 1. Труды научного симпозиума «Неделя горняка - 2014» - 2014. – С. 247-253.

РАСЧЕТ ОБДЕЛОК ВЗАИМОВЛИЯЮЩИХ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ РАЙОНАХ

П.В. Деев, О.М. Левищева, М.А. Петрухин, Тульский государственный университет, Россия

Предложен новый аналитический метод расчета обделок подземных сооружений на сейсмические воздействия землетрясений, учитывающий влияние близкорасположенных подземных объектов и земной поверхности. Приводятся примеры расчета.

Работа поддержана грантом МД-1546.2014.5

При проектировании подземных сооружений, располагаемых в сейсмически активных районах, необходимо принимать во внимание возможность воздействия землетрясения на подземную конструкцию и окружающий массив пород. Оценить последствия сейсмического