

В.С. Гаркуша

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ШАХТНЫХ ПОРОД

*Исследована возможность использования шахтных пород в качестве мелкого заполнителя для тампонажных растворов. Подобраны их рациональные составы на основе углевмещающих пород Западного Донбасса. Определены реологические свойства тампонажных растворов. Получены зависимости нарастания во времени пластической прочности тампонажных растворов в чистом виде и с добавкой жидкого стекла. Даны рекомендации относительно оптимального количества жидкого стекла в составе тампонажных растворов.*

---

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТАМПОНАЖНИХ РОЗЧИНІВ НА ОСНОВІ ШАХТНИХ ПОРІД

*Досліджено можливість використання шахтних порід як дрібний заповнювач для тампонажних розчинів. Підбрано їх раціональні співвідношення на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу. Визначено реологічні властивості тампонажних розчинів. Отримано залежності наростання у часі пластичної міцності тампонажних розчинів у чистому вигляді та з добавкою рідкого скла. Надано рекомендації відносно оптимальної кількості рідкого скла у складі тампонажних розчинів.*

---

## RHEOLOGICAL PROPERTIES STUDY OF GROUTING MIXTURES BASED ON THE WASTE ROCKS

*The possibility of crushed rock using as an aggregate for grouting mortars is studied. The rational composition of grouting mortar based on metamorphic rocks of the Western Donbas is determined. The rheological properties of grouting mortars are determined. The dependence of the rise of plastic strength in time for the grouting mortars in pure form and with the addition of glass-in-water is obtained. Conclusions are drawn about an optimal amount of glass-in-water in the composition of grouting mortars.*

---

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных проблем угледобывающих регионов Украины является проблема использования отходов добычи каменного угля. Выдаваемые на поверхность породы практически не перерабатываются и складированы в отвалы, которые зани-

мают большие земельные площади и представляют серьезную угрозу для окружающей среды. Наиболее распространенными способами использования шахтных пород являются обратная закладка в выработанное пространство и возведение различных насыпей (дорожных и в качестве засыпки во избежание заболачивания местности) [1]. Однако этих мероприятий недостаточ-

но, чтобы утилизировать весь объем отвалных пород, накопленных за более чем сто лет разработки угольных месторождений Донбасса.

К тому же на некоторых угледобывающих предприятиях существуют проблемы, связанные с большой нагрузкой на транспортную систему шахты – подъем ствола и сеть горизонтальных и наклонных выработок. Транспортная сеть шахты не всегда выдерживает поток материальных ресурсов, которые необходимо либо доставлять к забоям выработок (цемент, песок, щебень и т.п.), либо выдавать на поверхность (пустые породы, каменный уголь).

С другой стороны, существует необходимость в снижении затрат на поддержание капитальных выработок угольных шахт. В связи с этим была исследована возможность использования шахтных пород в качестве мелкого заполнителя для тампонажных растворов, широко применяемых в технологии тампонажа закрепного пространства при поддержании капитальных выработок шахт Западного Донбасса.

*Целью работы* является определение рациональных составов и реологических свойств тампонажных растворов на основе шахтных пород.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При выполнении работы применялись следующие сырьевые компоненты – цемент марки ПЦ I 500 Н, природный кварцевый песок (модуль крупности  $M_k = 1,26$ ), порода шахты им. Героев Космоса ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», измельченная до фракции менее 1,6 мм. Используемая порода представлена глинистыми породами – смесью аргиллитов и алевролитов [2, 3]. При проведении эксперимента были определены следующие свойства тампонажных растворов: плотность раствора, структурная вязкость, распыл и пластическая прочность.

Реологические свойства тампонажных растворов характеризуют их способность прокачиваться насосными установками, проникать в трещины породного массива. Вязкость жидкостей – мера внутреннего трения между ее слоями. Эта величина характерна для растворов и жидкостей, которые не имеют структуры – т.н. ньютоновские жидкости. Тампонажные растворы (глинистые, цементно-песчаные, глинисто-цементные и др.) не подчиняются закону Ньютона, так как они являются структурированными дисперсными системами.

После затворения водой в тампонажных растворах начинают происходить процессы структурообразования, в данном случае это процесс гидратации цемента, а также в меньшей степени соединение глинистых (породных) частиц друг с другом в тех местах, где гидратные оболочки тоньше или отсутствуют и образуют скелетную структуру.

Для того чтобы вернуть раствору текучесть необходимо снизить его вязкость, т.е. разрушить его структуру. Это так называемое явление тиксотропного разжижения, характерное для цементных растворов. Вязкость раствора зависит от его состояния (покой, движение), поэтому существует понятие структурной вязкости, которая зависит от величины механического воздействия на раствор [4]. Структурная вязкость определялась с помощью прибора СНС-2, плотность свежего раствора – с помощью ареометра АГ-ЗПП. Реологические свойства тампонажных растворов на основе шахтных пород представлены в табл. 1.

Из полученных данных следует, что растворы, содержащие большое количество измельченных шахтных пород, обладают несколько меньшей плотностью, по сравнению с составами, содержащими большое количество природного кварцевого песка.

Растворы на основе шахтных пород (смеси аргиллитов и алевролитов) имеют некоторые преимущества перед традиционным цементно-песчаным раствором, в

частности, благодаря глинистой природе заполнителя они являются более однородными и устойчивыми к процессу седимен-

тации, обладают меньшей структурной вязкостью и, следовательно, хорошей проникающей способностью.

#### РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

Таблица 1

Состав	В/Т	Расплав, см	Плотность раствора, кг/м <sup>3</sup>	Структурная вязкость, $\eta$ , гс·с/см <sup>2</sup>
1. Цемент : Песок : Порода = 1 : 0 : 3	0,45 СП	19	1730	0,045
2. Цемент : Песок : Порода = 1 : 2 : 1	0,40	22	1850	0,040
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	0,030

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

Однако тампонажные растворы на основе шахтных пород требуют большего количества воды затворения для достижения оптимальной консистенции, т.е. расплава 18 – 22 см, что считается оптимальным для прокачивания тампонажного раствора насосной установкой. Для уменьшения водопотребности при проведении лабораторных работ в состав тампонажных растворов добавляли суперпластификатор «Виматол» в количестве 0,06%.

В ходе работы стало очевидно, что суперпластификатор не работает с породным заполнителем. Измельченная порода поглощает его вместе с водой затворения, но наличие суперпластификатора становится целесообразным, когда в смеси присутствует хотя бы минимальное количество песка. В этом случае необходимо меньшее количество воды затворения.

При проведении тампонажных работ очень важно знать как быстро нарастает прочность структуры тампонажного камня. 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 и 90°. Пластиче-

ская прочность определяется по формуле  $P_m$  (Па)

$$P_m = K_a \cdot \frac{F}{h^2},$$

где  $F$  – вес погружаемой системы, Н;

$h$  – глубина погружения конуса в тампонажный раствор, м;

$K_a$  – коэффициент, зависящий от угла

конуса:  $K_a = \frac{1}{\pi} \cos^2 \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$ , где  $\alpha$  – угол при вершине конуса.

В ходе выполнения эксперимента были получены закономерности нарастания пластической прочности во времени для двух- и трехкомпонентных тампонажных растворов. Из полученных результатов стало очевидно, 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 приведены в табл. 2. Зависимость пластической прочности тампонажных растворов от времени твердения представлена на рис. 1.

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	11,0	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

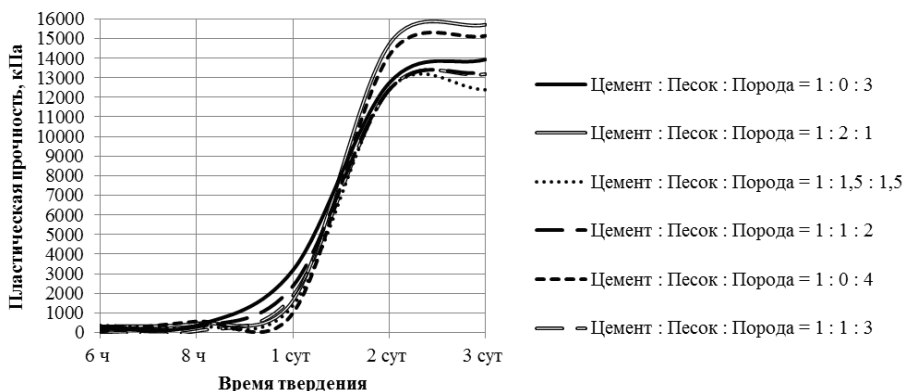


Рис. 1. Зависимость пластической прочности тампонажных растворов от времени твердения

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

$$P_m = -7,0528t^4 + 6,662t^3 - 3,1523t^2 + 1,4t - 2,7689.$$

Из полученных данных относительно зависимости пластической прочности от времени следует, что наибольший прирост пластической прочности наблюдается через 8 ч после затворения, что не ограничивает проведение тампонажных работ во времени, однако является не очень приемлемым, т.к. существует необходимость в более быстром приросте пластической прочности при проведении работ. В связи с этим, к составу, определенному как наибо-

лее рациональный, вместе с водой затворения вводилась добавка жидкого стекла в количестве 2; 3; 4; 5; 6; 7%. Результаты исследований представлены в табл. 3. Зависимость пластической прочности тампонажных растворов с добавкой 0; 2; 3; 4; 5; 6% жидкого стекла от времени твердения представлена на рис. 2.

Как видно из рис. 2, наиболее приемлемой является добавка жидкого стекла 4% от массы вяжущего вещества. Введение жидкого стекла в большем или меньшем количестве является нецелесообразным. Зависимость пластической прочности  $P_m$  от времени  $t$  для состава Цемент: Песок : Порода = 1 : 1 : 2 + 4% жидкого стекла описывается уравнением

$$P_m = 2,0653t^4 - 2,562t^3 + 8,9787t^2 - 3,606t + 2,4137.$$

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 : 1 : 2	3,4	11	11,01	16,68	1377	14905	16107
2. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2 + 2% жидкого стекла	2,6	3,4	12,53	34,8	1018	12387	13387
3. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2 + 3% жидкого стекла	–	6,4	34,8	44,04	1634	12732	13745
4. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2 + 4% жидкого стекла	2,8	15,1	313	2291	14707	16107	16901
5. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2 + 5% жидкого стекла	7,1	11,0	50	853	12732	13732	14336
6. Цемент : Песок : Порода = 1 : 1 : 2 + 6% жидкого стекла	62,4	4,5	113	1377	12732	13900	15402

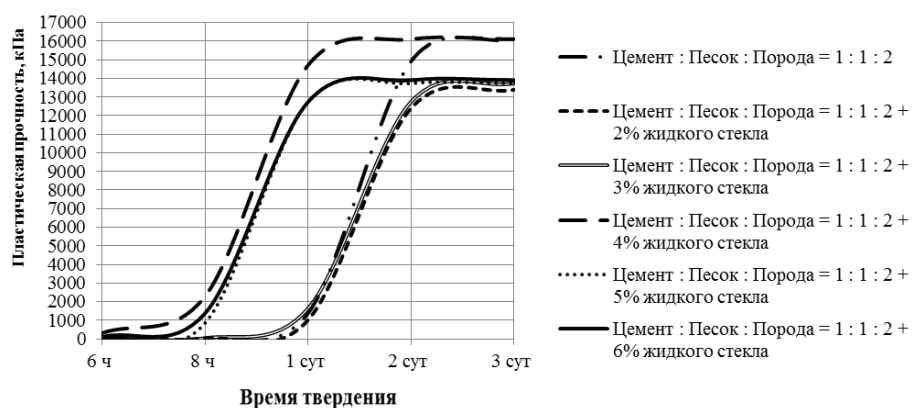


Рис. 2. Зависимость пластической прочности тампонажных растворов с добавкой жидкого стекла от времени

## ВЫВОДЫ

Тампонажные растворы на основе углевмещающих пород Западного Донбасса являются альтернативными материалами, которые по своим реологическим свойствам не только не уступают традиционным материалам на основе природного кварцевого песка, а даже имеют некоторые преимущества по меньшей плотности, структурной вязкости, седиментационной ус-

тойчивости, хорошей проникающей способности.

Внедрение технологии подземной переработки углевмещающих пород Западного Донбасса позволит снизить затраты на покупку и доставку сырьевых материалов для тампонажных растворов, количество пород, выдаваемых на поверхность, а также значительно улучшит экологическую обстановку в горнодобывающих регионах.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мочков В.С. Утилізація шахтних порід Західно-Донбасу / В.С. Мочков, Б.Е. Бронштейн, А.Я. Гречин // Уголь України. – 1985. – № 10. – С. 21 – 22.

2. 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.

3. Коваленко В.В. Исследование физико-механических характеристик торкрет-бетонных составов на основе пустой породы / В.В. Коваленко, В.С. Гаркуша

// Форум гірників: матеріали міжнар. конф. – Д.: ЛізуновПрес. – 2014. – Т. 2. – С. 130 – 138.

4. Башлык С.М. Лабораторный практикум по основам гидравлики и промысловым жидкостям: учеб. пособ. / Башлык С.М., Загибайло Г.Т., Зайонц О.Л. – М.: Недра, 1982. – 156 с.

## ОБ АВТОРАХ

Гаркуша Виталия Сергеевна – аспирантка кафедры строительства, геотехники и геомеханики Национального горного университета.