

## СПОСОБ МИНИМИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИИ УСАДКИ ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВА

Е.А. Ермолович, О.В. Ермолович, А.Н. Кирилов

*Предложен способ минимизации деформации усадки закладочного массива, включающий размещение в формируемом массиве армирующих элементов одновременно с твердеющей смесью, причем в качестве армирующих элементов применяется микрофибра базальтовая модифицированная (МБМ). Анализ полученных данных показывает, что введение МБМ в количестве 7,5 % от массы вяжущего обеспечивает уменьшение относительной деформации усадки закладочного массива на 50 %, при этом сохраняя возможность транспортирования смеси по трубам.*

*Ключевые слова: твердеющий закладочный массив, относительная деформация усадки, микрофибра базальтовая модифицированная*

Твердение закладочного материала в выработанном пространстве сопровождается усадкой искусственного массива. Усадкой называют свойства бетона уменьшаться в объеме при твердении в воздушной среде. С учетом «недозаклада» это ведет за собой проседание массива и соответственно нарушение его сплошности, а также образование каналов для прорыва воды [1]. Несущая способность искусственных массивов реализуется недостаточно вследствие отсутствия надлежащего контакта с налегающим массивом по всей площади подработки [2]. Неполнота закладки пустот является одним из главных факторов, способствующих смещению подрабатываемых толщ [3].

Обычные композиции, применяемые для закладки выработанного пространства, обладают большой деформативной способностью. Под деформативностью бетона принято понимать изменение его формы и размеров под влиянием различных воздействий (в том числе в результате взаимодействия бетона с внешней средой). Эффективным способом улучшения деформативных свойств бетона является добавление в него фибры. Многие типы волокон были использованы для армирования бетона. Согласно [4], обычно применяются стальные волокна (50 %), далее полипропиленовые волокна (20 %) и стекловолокно (5 %), а на все другие типы волокон, включая базальтовые, приходится всего 25 %. В тоже время базальтовая фибра имеет ряд преимуществ: не вызывает коррозии, легкая в весе, обладает высокой устойчивостью в щелочной, кислой и соленой среде [5-7].

Целью данной работы являлась минимизация относительной деформации усадки закладочного массива при обеспечении безопасных условий горных работ за счет возможности механизированной подачи материала и его растекания в выработанном пространстве.

Для решения поставленной задачи предложен способ минимизации

усадочности закладочного массива, включающий размещение в формируемом массиве армирующих элементов одновременно с твердеющей смесью, причем для обеспечения механизированной подачи материала и растекания в выработанном пространстве указанную смесь необходимо перемешивать не менее 20 минут, а в качестве армирующих элементов применяют микрофибру базальтовую модифицированную наночастицами фуллероидного типа (МБМ) в количестве 7,5 % от массы вяжущего.

МБМ (ТУ 5761-014-13800624-2004) производства ЗАО «Астрин-Холдинг» состоит из (в % по массе):

- ваты базальтовой с органической пропиткой – 99,3-99,6;
- наномодификатора – 0,0001-0,01;
- воды – 0,3-0,5

В качестве наномодификатора используется углеродный наномодификатор фуллероидного типа по ТУ 2166-001-13800624-2003.

Основные характеристики МБМ приведены в табл. 1.

**Таблица 1**

**Основные характеристики МБМ**

| № п/п | Наименование показателя                                   | Значение |
|-------|-----------------------------------------------------------|----------|
| 1     | Средний диаметр волокна, мкм                              | 8...10   |
| 2     | Средняя длина волокна, мкм                                | 100-500  |
| 3     | Содержание неволоконистых включений, % по массе, не более | 10       |
| 4     | Влажность, % по массе, не более                           | 1        |
| 5     | Плотность насыпная, кг/м <sup>3</sup> , не более          | 800      |
| 6     | Содержание органических веществ, % по массе, не более     | 2        |

Идея эксперимента заключалась в сравнении деформативных и реологических свойств образцов закладочного массива и формирующих его композиций с добавлением МБМ и без нее. Сравнение проводили по таким параметрам, как диаметр пятна расплыва по Суттарду, осадка конуса и усадка.

В Европейском стандарте EN 1992-1-1 [8] представлена инженерная методика расчета усадки бетона  $\epsilon_{cs}$  по формуле:

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca},$$

где  $\epsilon_{cd}$  – часть усадки бетона, обусловленная испарением из него влаги;  $\epsilon_{ca}$  – часть усадки бетона, обусловленная процессами твердения бетона.

Однако по имеющимся данным [9] отклонения расчетных значений от фактических экспериментальных весьма существенны и не могут считаться удовлетворительными. Поэтому для достоверности прогнозирования свойств закладочного массива предпочтение отдали экспериментальному методу исследования.

Относительная деформация усадки определялась на образцах размером 40x40x160 мм, которые твердели 90 суток в нормальных условиях согласно ГОСТ 10180-2012. Усадка определялась индикатором часового типа ИЧ-0,1. Определение относительной деформации усадки осуществлялось по формуле:

$$\Delta = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \cdot 100 \%,$$

где  $l_1$  – первоначальная длина образца, мм;  $l_2$  – длина после усадки, мм.

Для определения подвижности закладочной композиции применялся метод осадки конуса.

Данный метод заключается в измерении изменения высоты (оседания) под собственным весом конусом смеси, в которую после снятия металлической формы закладывался бетон. Расчетный конус имеет высоту 30 см, объем бетона, который может в него поместиться, составляет порядка 6 л. Приготавливается такая смесь объемом около 7 л. По мере заполнения формы, бетон штыкуется специальной штыковкой. Затем форму снимают, ставят ее рядом с полученным бетонным конусом и измеряют изменение высоты.

Растекаемость (текучесть) смеси, формирующей закладочный массив, определяли по вискозиметру Суттарда. Фиксировался диаметр пятна расплыва.

Для проверки работоспособности предлагаемого способа была изготовлена модель закладочного массива, состоящего из вяжущего (цемент ЦЕМ II 32,5АШ – 13,5 % по массе), заполнителя (отходы обогащения железистых кварцитов мокрой магнитной сепарации – 62,3 % по массе), суперпластификатора (Полипласт СП-1 – 0,15 % по массе), воды (остальное). Изготовили две серии массива: в первой серии (контрольной) микрофибру базальтовую модифицированную МБМ не добавляли. Во второй серии в смесь вводили 7,5 % от массы вяжущего микрофибры базальтовой модифицированной МБМ сверх 100 %.

Для установления необходимого времени смешивания компонентов композицию серии №2 смешивали в течении 10, 15 и 20 минут. При смешивании в течении 10-15 минут наблюдалась неравномерная консистенция смеси и наличие комков, пятно расплыва по Суттарду имело неправильную форму, поэтому корректно определить его диаметр не удалось. К тому же наличие комков свидетельствует о невозможности распределения фибры равномерно во всем объеме будущего искусственного массива, что скажется на неравномерности его усадочных деформаций.

Данные испытаний приведены в табл. 2.

**Экспериментальные данные**

| № серии                  | Количество МБМ, % от вяжущего | Время смешивания, мин | Диаметр пятна расплыва по Суттарду, мм | Осадка конуса, см | Относительная деформация усадки, % |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| 1 (контрольная)          | 0                             | 20                    | 210                                    | 17                | 0,363                              |
| 2 (разработанный способ) | 7,5                           | 20                    | 170                                    | 13,8              | 0,180                              |

Известно, что для обеспечения устойчивого режима транспортирования по трубам и равномерную укладку в выработанном пространстве регламентируется растекаемость (диаметр пятна расплыва по Суттарду) смеси 13...20 см и осадка эталонного конуса 9...14 см [10].

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что введении МБМ в количестве 7,5 % от массы вяжущего обеспечивает уменьшение относительной деформации усадки закладочного массива на 50 %. Минимизация усадки позволит реализовать предназначение закладки в управлении горным давлением и ограничить негативное влияние подземных горных работ на окружающую среду. При этом обеспечиваются безопасные условия горных работ за счет отсутствия необходимости присутствия людей в очистном пространстве и возможности механизированной подачи материала в выработанное пространство.

Исследования выполнены с применением оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием НИУ «БелГУ» «Диагностика структуры и свойств наноматериалов» при финансовой поддержке гранта на проведение НИР по приоритетным направлениям социально-экономического развития Белгородской области в рамках научного проекта № 7-гр.

**Список литературы**

1. Хайрутдинов М.М., Шаймярдянов И.К. Подземная геотехнология с закладкой выработанного пространства: недостатки, возможности совершенствования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 1. С. 240-250.

2. Аглюков Х.И. Управление геомеханическими процессами при разработке рудных месторождений технологией высокоплотной закладкой: автореф. дис. ...доктора техн. наук. Екатеринбург, 2009. 40 с.

3. Копылов А.Б., Коряков А.Е. Геоэкологические последствия влияния подземных гонных работ на прилегающие территории // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: материалы VIII Международной научно-практической конференции. Кемерово, 2009. Том 2. С. 139-146.

4. Sami Elshafie, Gareth Whittleston A review of the effect of basalt fibre lengths and proportions on the mechanical properties of concrete // International Journal of Research in Engineering and Technology. 2015. Volume 4, No. 1. P. 458-465.

5. Smriti Raj Compressive behavior of Basalt Fiber Reinforced Composite // International Journal of Structural Analysis & Design. 2013. Volume 1, No. 1. P. 49-53.

6. Artemenko S.E., Kadykova Y.A. Polymer composite materials based on carbon, basalt, and glass fibres // Fibre Chemistry, 2008. Volume 40, No. 1. P. 37-39.

7. Pakharenko V.V., Yanchar I., Pakharenko V.A., Efanova V.V. Polymer composite materials with fibrous and disperse basalt fillers // Fibre Chemistry, 2008. Volume 40, No. 3. P. 246-252.

8. EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings // European committee for standardization, Brussels, 2004. 227 P.

9. Котов С.Д. Деформация усадки бетона, модифицированного химическими и тонкодисперсными минеральными наполнителями // Инженерно-строительный журнал. 2009. №7. С. 11-21.

10. Монтянова А.Н. Формирование закладочных массивов при разработке алмазных месторождений в криолитозоне. М.:Горная книга, 2009. 597 с.

*Ермолович Елена Ахмедовна, д-р техн. наук, доц., проф., [elena.ermolovich@mail.ru](mailto:elena.ermolovich@mail.ru), Россия, Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет,*

*Ермолович Олег Вячеславович, председатель наблюдательного совета, [oleg.ermolovich@mail.ru](mailto:oleg.ermolovich@mail.ru), Россия, Белгород, ООО «Торговый дом «Карина»,*

*Кирилов Александр Николаевич, инженер-геолог, [kirilov31rus@gmail.com](mailto:kirilov31rus@gmail.com), Россия, Белгород, ООО "Белгородстройизыскания"*

*THE METHOD OF MINIMIZING DEFORMATION  
OF THE FILLING MASS SHRINKAGE*

*E.A. Ermolovich, O.V. Ermolovich ,  
A.N. Kirilov*

*The method of minimizing deformation of the filling mass shrinkage that includes placing in the formed mass of reinforcing elements along with hardening mixtures is proposed, and basalt nanomodified microfiber (MBM) used as reinforcing elements. Analysis of the data shows that the introduction of MBM in the amount of 7,5 % by weight of the binder reduces the deformation of the filling mass shrinkage, while maintaining the ability to transport the mixture through the pipes.*

*Key words: hardening filling mass, relative shrinkage deformation, basalt nanomodified microfiber*

*Ermolovich Elena Akhmedovna, doctor of technical science, docent, professor of department of applied geology and mining, [elena.ermolovich@mail.ru](mailto:elena.ermolovich@mail.ru), Russia, Belgorod, Belgorod National Research University,*

*Ermolovich Oleg Vjacheslavovich, vice chairman of the supervisory board, [oleg.ermolovich@mail.ru](mailto:oleg.ermolovich@mail.ru), Russia, Belgorod, LLC "Trading House "Karina",*

*Kirilov Aleksandr Nikolaevich, geological engineer, [kirilov31rus@gmail.com](mailto:kirilov31rus@gmail.com), Russia, Belgorod, LLC "Belgorodstroyizyskaniya"*

#### Reference

1. Hajrutdinov M.M., Shajmardjanov I.K. Podzemnaja geotehnologija s zakladkoj vyrabotannogo prostranstva: nedostatki, vozmozhnosti so-vershenstvovanija // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. 2009. № 1. S. 240 – 250.
2. Agljukov H.I. Upravlenie geomehanicheskimi processami pri razrabotke rudnyh mestorozhdenij tehnologiej vysokoplotnoj zaklad-koj: avtoref. dis. ...doktora tehn. nauk. Ekaterinburg, 2009. 40 s.
3. Kopylov A.B., Korjakov A.E. Geojekologicheskie posledstvija vlija-nija podzemnyh gonnyh rabot na prilegajushhie territorii // Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti predpriyatij v promyshlenno razvityh regionah: ma-terialy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Kemero-vo, 2009. Tom 2. S. 139 – 146.
4. Sami Elshafie, Gareth Whittleston A review of the effect of basalt fi-bre lengths and proportions on the mechanical properties of concrete // Inter-national Journal of Research in Engineering and Technology. 2015. Volume 4, No. 1. P. 458 – 465.
5. Smriti Raj Compressive behavior of Basalt Fiber Reinforced Compo-site // International Journal of Structural Analysis & Design. 2013. Volume 1, No. 1. P. 49 – 53.
6. Artemenko S.E., Kadykova Y.A. Polymer composite materials based on carbon, basalt, and glass fibres // Fibre Chemistry, 2008. Volume 40, No. 1. P. 37 – 39.
7. Pakharenko V.V., Yanchar I., Pakharenko V.A., Efanova V.V. Pol-ymer composite materials with fibrous and disperse basalt fillers // Fibre Chem-istry, 2008. Volume 40, No. 3. P. 246 – 252.
8. EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings // European committee for standardiza-tion, Brussels, 2004. 227 R.
9. Kotov S.D. Deformacija usadki betona, modifitsirovannogo hi-micheskimi i tonkodispersnymi mineral'nymi napolniteljami // Inzhe-nerno-stroitel'nyj zhurnal. 2009. №7. S. 11-21.
10. Montjanova A.N. Formirovanie zakladochnyh massivov pri raz-rabotke almaznyh mestorozhdenij v kriolitozone. M.:Gornaja kniga, 2009. 597 s.