

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ, ДИСПЕРСНО АРМИРОВАННЫХ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МИКРОФИБРОЙ

**В.А. Гурьева, Т.К. Белова**

*Оренбургский государственный университет, г. Оренбург*

Рассмотрено применение модифицированных углеродными наноматериалами микроволокон в качестве армирующего компонента цементного раствора. Изучены различные технологические схемы приготовления цементных растворов, дисперсно армированных модифицированной микрофиброй, для получения искусственного композита с высокими прочностными характеристиками. Исследовано влияние технологии приготовления дисперсно армированных растворов на однородность распределения микрофибры в смеси и прочностные показатели цементных растворов. Получена оптимальная схема приготовления, которая обеспечивает равномерное распределение армирующего микро волокна в растворной смеси и повышение прочностных характеристик раствора. Полученные результаты позволят получать цементные растворы с повышенным пределом прочности при изгибе на 33,5 % в сравнении с образцами, приготовленными по стандартной схеме.

*Ключевые слова: цементные растворы, технология приготовления, дисперсное армирование, модифицированная микрофибра.*

Во второй половине 20-го столетия перспективным направлением в строительном материаловедении стало создание эффективных композиционных материалов [1, 2], к числу которых относятся дисперсно армированные бетоны и растворы [3, 4]. С каждым годом номенклатура армирующих волокон расширяется [5, 6]. В связи с развитием нанотехнологий в строительстве находят применение упрочняющие заполнители (базальтовая микрофибра, углеродные микро волокна и т. д.), модифицированные углеродным наномодификатором [7]. Особенностью приготовления цементных растворов, дисперсно армированных модифицированной микрофиброй, является то, что такие волокна скатываются в комки-гранулы, в результате чего неравномерно распределяются по объему матрицы. В результате применение таких дисперсно армированных цементных растворов затрудняется. Поэтому необходимо разработать технологию приготовления цементных растворов, дисперсно армированных модифицированным микро волокном, которая обеспечивала бы равномерность распределения волокон и, в результате, улучшение эксплуатационных свойств растворов на их основе.

Целью эксперимента явилась отработка технологии приготовления цементных растворов, дисперсно армированных модифицированным микро волокном.

В качестве материалов для приготовления дисперсно армированных растворов применялись: портландцемент ПЦ 500-Д0 производства г. Ново-

троицк, «Южно-уральская Горно-перерабатывающая Компания», песок Архиповского месторождения Оренбургской области, истинная плотность  $\rho_{н.п.}=2,69$  г/см<sup>3</sup>; насыпная плотность  $\rho_{н.п.}=1,26$  г/см<sup>3</sup>, модуль крупности  $M_k = 2,2$ . Для уменьшения водоцементного отношения и увеличения подвижности растворной смеси применялся суперпластификатор на поликарбоксилатной основе «Штайнберг GROS-63MC» по ТУ 5745-008-69867132-2011 компании ООО «ШтайнбергХемичелябинск». В роли модифицированного микро волокна использована модифицированная базальтовая микрофибра (МБМ) производства ООО «НТЦ прикладных нанотехнологий» длиной 100-500 мкм и диаметром 8–10 мкм. Указанная микрофибра модифицирована углеродным наномодификатором фуллероидного типа по ТУ 2166-001-13800624-2003.

Исследования проводились на двух базовых составах цементно-песчаных растворов (табл. 1): состав 1 без добавки-суперпластификатора и состав 2 с добавкой «Штайнберг GROS-63MC». Для приготовления цементного раствора принято соотношение Ц:П=1:3, водоцементное соотношение

**Таблица 1**  
**Составы растворных смесей**

Состав	Цемент, части	Песок, части	Добавка, % от массы вяжущего	МБМ, % от массы вяжущего
1	1	3	–	1
2	1	3	1	1

подбиралось опытным путем до установления равной подвижности. Дозировка суперпластификатора составила 1 % от массы вяжущего. В ходе предварительных экспериментальных исследований установлено, что для дисперсного армирования цементного раствора оптимальное содержание МБМ в смеси составляет 1 % от массы вяжущего [8, 9]. Поэтому для дальнейших исследований количество МБМ в составах принято 1 % от массы цемента.

В исследованиях рассмотрены три схемы приготовления дисперсно армированных МБМ цементных растворов:

- 1) введение МБМ в предварительно приготовленную цементно-песчаную растворную смесь;
- 2) Введение МБМ в сухую смесь цемента и песка, получение однородной смеси сухих компонентов, затворение полученной смеси водой;
- 3) На первом этапе производится диспергирование МБМ в суспензии воды затворения и суперпластификатора. На втором этапе – ввод полученной суспензии в предварительно приготовленную сухую смесь цемента и песка.

Смешивание компонентов растворной смеси производилось с помощью миксера-насадки на электродрель. Диспергирование модифицированной базальтовой микрофибры в суспензии воды затворения и суперпластификатора выполнялось с помощью ультразвукового диспергатора УЗД 2-0,1/22 частотой 22 кГц.

После приготовления растворов по заданным схемам отбирались пробы растворной смеси, и визуально под микроскопом оценивалось наличие нераспавшихся «пучков» волокон. Эффективность диспергирования МБМ устанавливалась по наличию скоплений волокон на просвет через предметное стекло.

Для определения влияния технологии приготовления дисперсно армированного раствора на прочностные свойства цементных растворов изготавливали стандартные образцы-балочки размером 40×40×160 мм. Критерием оценки качества распределения микрофибры по объему матрицы послужил коэффициент вариации, определяемый по результатам испытаний 6 серий образцов (3 образца в серии) каждого состава на прочность при изгибе и сжатии в возрасте 28 суток твердения при нормальных условиях (табл. 2).

По первой схеме перемешивание компонентов осуществляли в течение 15 мин, модифицированное базальтовое микрофибру вводили в уже готовую растворную смесь. Однако при приготовлении смеси по данной схеме, модифицированное микрофибру неравномерно распределялось в растворной смеси, в результате чего снижалась однородность физико-механических свойств дисперсно армированного цементного раствора (табл. 2). Также было отмечено, что после введения МБМ в смесь происходило возникновение пиковых нагрузок на миксер-насадку, что приво-

дило к увеличению времени смешивания компонентов.

При второй схеме приготовления удалось получить повышенные прочностные показатели раствора по сравнению с образцами, приготовленными по предыдущей схеме. Это свидетельствует о более равномерном распределении микрофибры в смеси. Однако при визуальной оценке проб обнаружались нераспавшиеся комки волокон. Также существенным недостатком второй схемы перемешивания явилось значительное пыление в процессе смешивания сухих компонентов.

При третьей схеме приготовления перемешивание сводилось к двум стадиям. На первой стадии получали сухую смесь цемента и песка и параллельно проводилось диспергирование модифицированного базальтового микрофибры в ультразвуковом диспергаторе. В процессе диспергирования периодически визуально фиксировали наличие нераспавшихся комков микрофибры. Общее время ультразвуковой обработки составило 20 минут. После указанного времени при визуальном осмотре фиксировали отсутствие скопления волокон на просвет через предметное стекло. Полученная смесь добавлялась к перемешанным сухим компонентам, и далее проводилось смешивание в течение 30 секунд. Таким образом, по третьей схеме перемешивания «пучки» волокон распались на отдельные волокна, в то время как в 1-й и 2-й схемах оставались нераспавшиеся комки фибры.

Анализ результатов испытаний, представленных в табл. 2, показывает, что при предварительном диспергировании модифицированного микрофибры в суспензии воды и суперпластификатора повышаются прочностные показатели растворного камня главным образом при изгибе. Это свидетельствует о более равномерном распределении модифицированных микрофибры в растворной смеси. По третьей схеме перемешивания предел прочности армированного раствора при изгибе больше на 43,5 и 23,5 % при сравнении с аналогичным показателем

**Таблица 2**  
Результаты испытаний дисперсно армированных растворов при различных схемах приготовления

Состав	Предел прочности при изгибе, $R_{изг}$ , МПа	Коэффициент вариации, $V_{изг}$ , %	Предел прочности при сжатии, $R_{сж}$ , МПа	Коэффициент вариации, $V_{сж}$ , %
Схема 1				
1	9,2	13,4	38,2	14,2
2	11,5	11,7	41,4	12,3
Схема 2				
1	9,4	9,7	38	11,2
2	14,7	8,6	40,2	9,1
Схема 3				
1	10,5	7,6	39	8,2
2	19,9	6,8	45,3	7,5

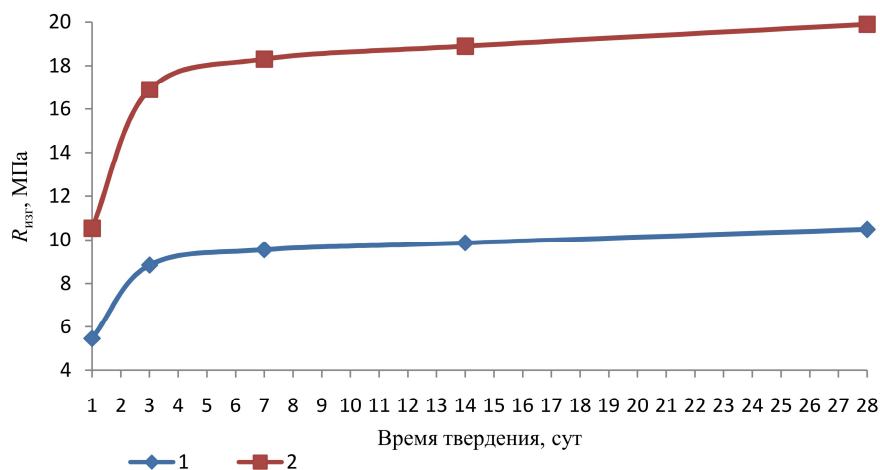


Рис. 1. Прочность при изгибе дисперсно армированного цементного раствора по 3-й схеме перемешивания: 1 – состав без суперпластификатора; 2 – состав с 1 % суперпластификатора

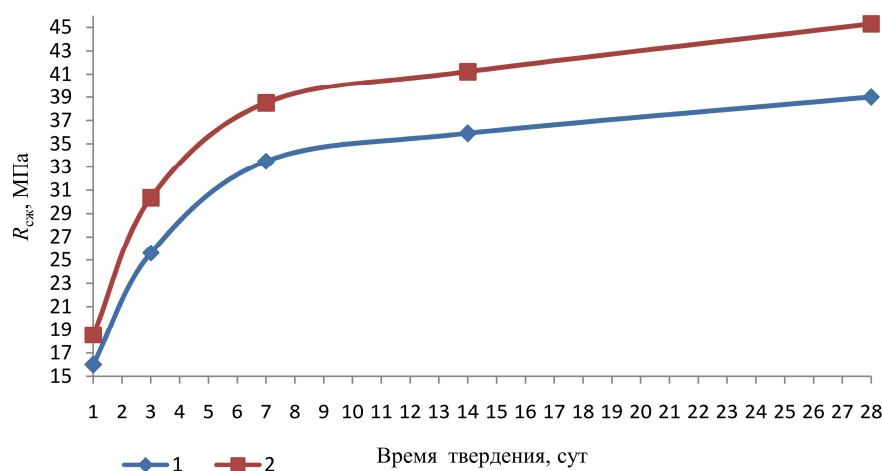


Рис. 2. Прочность на сжатие дисперсно армированного цементного раствора по 3-й схеме перемешивания: 1 – состав без суперпластификатора; 2 – состав с 1 % суперпластификатора

у образцов, приготовленных по первой и второй схемам соответственно. Коэффициент вариации для состава 2 равен 6,8 %, а при первой и второй схемах – 11,7 и 8,6 % соответственно. Предел прочности при изгибе состава 2 больше аналогичного показателя состава 1 на 89,5 %, а предел прочности на сжатие – на 16 % (рис. 1, 2).

Таким образом, разработанная технология приготовления цементных растворов, дисперсно армированных модифицированной микрофиброй, позволяет получить равномерное распределение микроволокон в растворной смеси, а также повысить прочностные показатели дисперсно армированных растворов. Так, прочность при изгибе образцов увеличивается в среднем на 33,5 %, а при сжатии – на 9 %.

#### Литература

1. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны / В.Г. Батраков. – М.: Стройиздат, 1990. – 400 с.

2. Композиционные материалы: справочник / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др.; под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.

3. Рабинович, Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов / Ф.Н. Рабинович. – М.: АСВ, 2004. – 560 с.

4. Малинина, Л.А. Опыт изготовления изделий из фибробетона в СССР и за рубежом: Обзор / Л.А. Малинина, К.М. Королев, В.М. Рыбасов. – М.: ВНИИЭСМ, 1981. – Вып. 3. – 35 с.

5. Войлоков, И.А. Расширение применения фибры как армирующего материала в различных видах конструкций / И.А. Войлоков // Популярное бетоноведение. – 2008. – № 3 (23). – С. 72–74.

6. Грызлов, В.С. Информационно-физические аспекты макроструктурообразования бетона / В.С. Грызлов, С.В. Демидов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2000. – № 7–8. – С. 39–42.

7. Пономарев, А.Н. Высококачественные бетоны. Анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологии / А.Н. Пономарев // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 6. – С. 25–33.

8. Белова, Т.К. Исследование влияния дисперсного армирования модифицированным базальтовым микроволокном на прочностные свойства цементного раствора / Т.К. Белова, В.А. Гурьева, В.И. Турчанинов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 2. – <http://www.>

[ivdon.ru/magazine/archive/n2y2015/2883](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2015/2883) (дата обращения 28.11.2015).

9. Гурьева, В.А. Устройство монолитных полов с применением дисперсно армированных растворов / В.А. Гурьева, Т.К. Белова // Сборник материалов Международной научной конференции «Наука и образование: фундаментальные основы, технологии, инновации», посвященной 60-летию Оренбургского государственного университета. – Оренбург, 2015. – Ч. 1. – С. 158–162.

Гурьева Виктория Александровна, заведующий кафедрой технологии строительного производства, доктор технических наук, доцент, Оренбургский государственный университет (Оренбург), [victoria-gurieva@rambler.ru](mailto:victoria-gurieva@rambler.ru)

Белова Татьяна Константиновна, преподаватель кафедры технологии строительного производства, Оренбургский государственный университет (Оренбург), [belova\\_tatyana\\_90@mail.ru](mailto:belova_tatyana_90@mail.ru)

Поступила в редакцию 4 декабря 2015 г.

---

DOI: 10.14529/build160106

## TECHNOLOGY OF CEMENT MORTARS MIXING REINFORCED CONTINUOUSLY BY THE MODIFIED MICROFIBER

V.A. Gur'eva, [victoria-gurieva@rambler.ru](mailto:victoria-gurieva@rambler.ru)

T.K. Belova, [belova\\_tatyana\\_90@mail.ru](mailto:belova_tatyana_90@mail.ru)

Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

The use of the microfibrils modified by carbon nanomaterials as the reinforcing component of cement mortar is considered. Various technological schemes of the cement mortars mixing reinforced continuously by the modified microfiber for receiving a cement and sand composition with high strength characteristics are considered. The influence of continuously reinforced mortars mixing technology on the uniformity of distribution of microfiber in mixture and strength indicators of cement mortars is investigated. The optimum scheme of mixing which provides uniform distribution of the reinforcing microfibre in a mortar mix and increase of strength characteristics of the mortar is achieved. These obtained results will allow getting cement mortars with the increased maximum strength at a bend for 33,5 % in comparison with the samples prepared according to the standard scheme.

*Keywords: cement mortars, technology of mixing, continuously reinforcement, modified microfiber.*

### References

1. Batrakov V.G. *Modifitsirovannye betony* [The modified concrete]. Moscow, Stroizdat Publ., 1990. 400 p.
2. Vasil'ev V.V., Ternopol'skiy Yu.M., Protasov V.D., Bolotin V.V. *Kompozitsionnye materialy* [Composite materials]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990. 512 p.
3. Rabinovich F.N. *Kompozity na osnove dispersno armirovannykh betonov* [Composites on the basis of dispersno the reinforced concrete]. Moscow, ASV Publ., 2004. 560 p.
4. Malinina L.A., Korolev K.M., Rybasov V.M. *Opyt izgotovleniya izdeliy iz fibrobetona v SSSR i za rubezhom: Obzor* [Experience of production of products from a fibrobeton in the USSR and abroad: Review]. Moscow, VNIIESM Publ., 1981, iss. 3, 35 p.
5. Voylovkov I.A. [Expansion of application of a fiber as the reinforcing material in different types of designs]. *Populyarnoe betonovedenie*, 2008, no. 3(23), pp. 72–74. (in Russ.).

6. Gryzlov V.S., Demidov S.V. [Information and physical aspects of macrostructurization of concrete]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2000, no. 7–8, pp. 39–42. (in Russ.).

7. Ponomarev A.N. [High-quality concrete. Analysis of opportunities and practician of use of methods of nanotechnology]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal* [The scientific journal of civil engineering]. 2009, no. 6, pp. 25–33. (in Russ.).

8. Belova T.K., Gur'eva V.A., Turchaninov V.I. [Research of influence of disperse reinforcing by the modified basalt microfibre on strength properties of cement mortar]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2015, no. 2. Available at: [www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2015/2883](http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2015/2883) (accessed 28.11.2015). (in Russ.).

9. Gur'eva V.A., Belova T.K. [The device of monolithic floors with application dispersno the reinforced solutions]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Nauka i obrazovanie: fundamental'nye osnovy, tekhnologii, innovatsii», posvyashchennoy 60-letiyu Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Collection of materials of the International scientific conference "Science and education: fundamental bases, technologies, innovations", devoted to the 60 anniversary of the Orenburg state university]. Orenburg, 2015, vol. 1, pp. 158–162. (in Russ.).

*Received 4 December 2015*

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Гурьева, В.А. Технология приготовления цементных растворов, дисперсно армированных модифицированной микрофиброй / В.А. Гурьева, Т.К. Белова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 41–45. DOI: 10.14529/build160106

**FOR CITATION**

Gur'eva V.A., Belova T.K. Technology of Cement Mortars Mixing Reinforced Continuously by the Modified Microfiber. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2016, vol. 16, no. 1, pp. 41–45. (in Russ.). DOI: 10.14529/build160106

---