

## СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ, ДИСПЕРСНО АРМИРОВАННЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫМ МИКРОВОЛОКНОМ

Цементные растворы, дисперсно армированные волокнами-фибрами, являются одним из перспективных конструктивных материалов в строительстве. Волокна, модифицированные углеродными наноматериалами, упрочняют структуру цементного камня на различных уровнях, в результате чего полученный композит обладает повышенными эксплуатационными свойствами. Однако, на сегодняшний день широкого распространения модифицированные волокна не получили ввиду недостаточной изученности свойств цементных композиционных материалов на их основе.

Результатами исследования свойств цементных растворов, дисперсно армированных базальтовой микрофиброй, модифицированной (МБМ) углеродным наномодификатором, являются повышение прочности растворов на изгиб, снижение истираемости и относительной деформации усадки. Введение 1% МБМ от массы вяжущего приводит к повышению прочности на изгиб до 60% и незначительному повышению прочности на сжатие – 4%. Истираемость цементных растворов, дисперсно армированных модифицированной базальтовой микрофиброй, по сравнению с образцами аналогичного состава, дисперсно армированными обычным тонким базальтовым волокном, ниже на 50,2%. При прочих равных условиях введение модифицированной микрофибры способствует снижению величины относительной деформации усадки на 51%, при этом наиболее интенсивно усадка развивается в первые 7–10 суток твердения.

По результатам испытаний можно сделать вывод о том, что дисперсное армирование цементных растворов микрофиброй, модифицированной углеродным наномодификатором, способствует улучшению структуры цементно-песчаного композита. В результате улучшаются такие эксплуатационные характеристики цементного раствора как: прочность на изгиб, прочность на сжатие, истираемость, усадка в результате твердения.

**Ключевые слова:** дисперсное армирование, цементные растворы, модифицированная микрофибра, углеродный наномодификатор, прочность раствора, истираемость, деформация усадки

В строительном производстве одним из перспективных направлений упрочнения цементных растворов является их дисперсное армирование волокнами различного происхождения [1]–[4]. В зависимости от диаметра и размеров армирующих волокон упрочнение структуры цементного камня может происходить на макроуровне, микро– или наноуровне [6], [7]. В последнее время в связи с развитием нанотехнологий в строительстве особый интерес представляет модифицирование цементного камня наноразмерными добавками, в частности углеродными нанотрубками и фуллеренами, для которых в качестве носителя используются высокомодульные микроволокна [8]–[10]. Такой вид дисперсного армирования получил название динамического дисперсного самоармирования цементного камня [9], [11]. Полученный композит обладает стабилизированной микроструктурой, вследствие чего увеличивается прочность раствора, стойкость к истиранию, ударным воздействиям и т. п. [12]–[15].

Целью эксперимента явилось получение композита на основе цементно-песчаной матрицы, дисперсно армированного модифицирован-

ной микрофиброй, с последующим изучением свойств полученного материала.

Для исследования использована модифицированная базальтовая микрофибра (МБМ) производства ООО «НТЦ прикладных нанотехнологий» длиной 100–500 мкм и диаметром 8–10 мкм. Данная микрофибра модифицирована углеродным наномодификатором – астраленом.

В качестве матрицы принят цементно-песчаный раствор следующего состава: цементно-песчаное отношение 1:3, водоцементное отношение подбиралось опытным путем до установления равной подвижности марки ПЗ, дозировка суперпластификатора – 1% от массы вяжущего. Дозировка МБМ составила 0,5 и 1% от массы цемента [16]. Сравнение проводилось с контрольными образцами, изготовленными на идентичных составах без добавления модифицированной микрофибры.

Для приготовления растворов применялись материалы: портландцемент ПЦ 500-Д0 производства г. Новотроицк, «Южно-уральская Горно-перерабатывающая Компания», песок Архиповского месторождения Оренбургской области с модулем крупности  $M_k = 2,2$ , супер-

пластификатор «Штайнберг GROS-63МС» по ТУ 5745-008-69867132-2011. Прочность на изгиб и сжатие определялась по ГОСТ 310.4-81. Для этой цели было изготовлено по три серии образцов призматического сечения (3 образца в каждой серии) каждого состава размерами 40x40x160 мм. Истираемость образцов определялась по ГОСТ 13087-81, для каждого состава изготавливалась одна серия образцов (3 образца в серии) в форме кубов с длиной ребра 70 мм. Деформацию усадки на образцах размером 40x40x160 мм измеряли по методике, приведенной в ГОСТ 24544-81.

Результаты эксперимента по прочностным показателям образцов в возрасте 3, 7, 14 и 28 суток представлены в таблице 1. Кинетика набора прочности образцов для каждого состава приведена на рисунках 1, 2.

Анализ данных исследований показывает, что введение МБМ в растворную смесь приводит главным образом к повышению прочностных показателей образцов при изгибе и незначительно к повышению прочностных показателей при сжатии. Так, в составах с микрофиброй в количестве 0,5% от массы цемента прочность образцов при изгибе повысилась на 30,4%, а при сжатии всего на 3% по сравнению с контрольным составом. При увеличении дозировки МБМ до 1% от массы вяжущего при-

рост прочности при изгибе составил 59,8%, а при сжатии 4,7%.

Исследование истираемости цементных образцов проводили на испытательном круге ЛКИ-3 с использованием шлифзерна 16. Опытные данные (рисунок 3) указали на снижение истираемости дисперсно армированных образцов по сравнению с контрольными. Так, в составах с содержанием МБМ в количестве 1% от массы вяжущего истираемость снизилась на 74,2%. По мнению авторов, данный эффект обусловлен формированием более плотной структуры композита в результате самоармирования цементного камня в присутствии углеродных частиц наноинициаторов. Сравнивая аналогичные показатели цементных растворов, дисперсно армированных обычным базальтовым волокном [17], можно сделать вывод о том, что волокна, модифицированные углеродными наноматериалами, формируют более плотный композит с минимальным количеством пор, о чем свидетельствуют результаты испытаний. Так, в работе [17] истираемость раствора аналогичного состава составила 0,247 г/см<sup>2</sup>, что на 49,8% выше истираемости состава с модифицированной базальтовой микрофиброй.

Данные результаты позволяют предположить, что полученные цементно-песчаные композиты обладают повышенной стойкостью

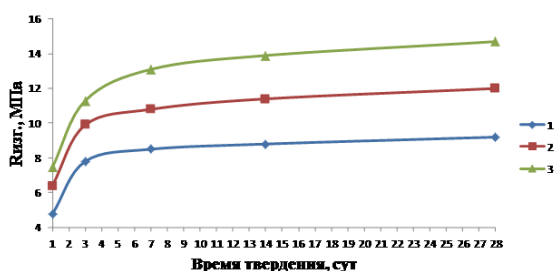


Рисунок 1. Кинетика набора прочности образцов при изгибе  
1 – без МБМ; 2 – с МБМ в количестве 0,5% от массы цемента; 3 – с МБМ в количестве 1% от массы цемента

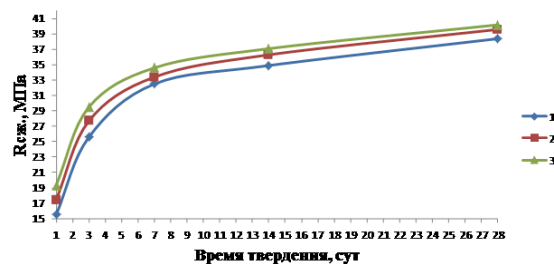


Рисунок 2. Кинетика набора прочности образцов при сжатии  
1 – без МБМ; 2 – с МБМ в количестве 0,5% от массы цемента; 3 – с МБМ в количестве 1% от массы цемента

Таблица 1. Результаты испытаний образцов на прочность при сжатии и изгибе

Дозировка МБМ, % от массы цемента	В/Ц	Предел прочности на изгиб, МПа, в возрасте				Предел прочности на сжатие, МПа, в возрасте			
		3 сут.	7 сут.	14 сут.	28 сут.	3 сут.	7 сут.	14 сут.	28 сут.
0	0,46	7,8	8,5	8,8	9,2	25,6	32,5	34,9	38,4
0,5	0,47	9,9	10,8	11,4	12,0	27,7	33,4	36,3	39,6
1	0,48	11,3	13,1	13,9	14,7	29,5	34,6	37,1	40,2

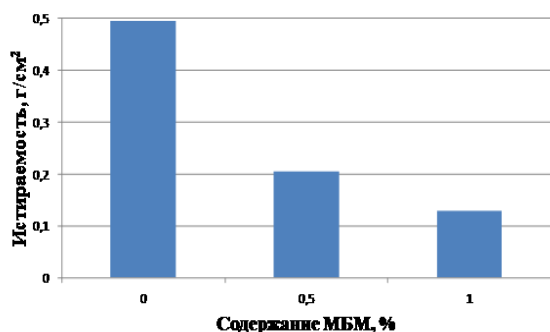


Рисунок 3. Истираемость цементных растворов в зависимости от содержания МБМ

к истиранию и могут с успехом применяться при устройстве монолитных покрытий полов в помещениях, к которым предъявляются повышенные требования к лицевому слою пола.

Для оценки влияния дисперсного армирования модифицированным базальтовым микроволокном на деформацию усадки цементных растворов изготавливали образцы-балочки размером 40x40x160 мм, которые твердели при температуре +18-220С и относительной влажности 60–65%. Измерение деформаций проводили с помощью индикатора часового типа с точностью 0,01 мм. Деформацию усадки измеряли в течение первых 28 суток твердения (рисунок 4).

Максимальная величина усадки к концу исследуемого периода составила: в составах без МБМ – 0,147%, в составах с содержанием МБМ 0,5% – 0,115%, с содержанием МБМ 1% – 0,072%. Таким образом, при прочих равных условиях введение модифицированной микрофибры способствует снижению величины относительной деформации усадки на 51%. Данные результаты указывают на формирование внутреннего фиброкаркаса, который в процессе твердения цементно-песчаной матрицы воспринимает возникающие напряжения, и, тем самым, снижает относительную деформацию композита.

Наиболее интенсивно усадка развивается в первые 7–10 суток твердения и ее величина составляет 45–60% от максимального значения. Затем интенсивность нарастания усадочных деформаций снижается. Чем выше скорость набора прочности в первые сутки твердения, тем

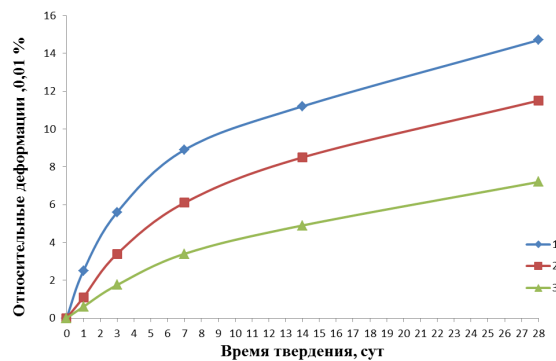


Рисунок 4. Деформация усадки цементно-песчаного раствора в процессе твердения  
1 – без МБМ; 2 – с МБМ в количестве 0,5% от массы цемента; 3 – с МБМ в количестве 1% от массы цемента

выше величина относительных деформаций. Величина относительных деформаций в возрасте 7 суток в составах без МБМ составляет 60,5% от величины деформаций к концу исследуемого периода, а в составах с содержанием микрофибры в количестве 0,5 и 1% от массы вяжущего – 53% и 47% соответственно. Такой характер развития деформаций связан с тем, что при вводе МБМ в растворную смесь замедляется темп набора прочности (таблица 1).

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

Дисперсное армирование цементных растворов модифицированной микрофиброй способствует повышению прочностных характеристик образцов на прочность при изгибе, что позволяет характеризовать данный композит как перспективный конструкционный материал;

Истираемость цементных растворов, дисперсно армированных модифицированной микрофиброй, значительно ниже аналогичного показателя образцов, дисперсно армированных обычным тонким волокном, что характеризует данный материал как достаточно износоустойчивый для применения при устройстве монолитных покрытий полов;

Деформация усадки цементно-песчаного раствора снижается при введении в растворную смесь модифицированных микроволокон, что может способствовать уменьшению негативного явления образования усадочных трещин при твердении цементных растворов.

11.10.2015

## Список литературы:

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М.: АСВ. 2004. 560 с.
2. Рабинович Ф.Н., Баев С.М. Эффективность применения полимерных фибр для дисперсного армирования бетона // Промышленное и гражданское строительство: научно-технический и производственный журнал. 2009. № 8. С. 28-31.
3. Петраков, Б.И. Базальтофибробетон в строительстве и архитектуре – экологический аспект и надежность / Б.И. Петраков, В.М. Золотов, А.Я. Марышкин, С.Б. Федотова // Архитектура. Строительство. Экология: сб. ст. под ред. Э.И. Слепяна и В. Регена. – СПб.: Издательство Вернера Регена, 2006. 672 с.
4. Войлоков И.А., Канаев С.Ф. Базальтофибробетон. Исторический экскурс // Инженерно-строительный журнал. 2009. №4. С. 26-31.
5. Ключев С.В. Высокопрочный фибробетон для промышленного и гражданского строительства // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8. С. 61-66.
6. Пухаренко Ю.В. Принципы формирования структуры и прогнозирование прочности фибробетонов // Строительные материалы. 2004. №10. С. 47-51.
7. Алаторцева У.В. Конструкционные сталефибробетоны, модифицированные комплексными углеродными микро- и наноразмерными добавками: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Волгоград, 2011. 151 с.
8. Буравлев В.О., Кондратюк Е.В., Комарова Л.Ф. Исследование сорбционных свойств модифицированного базальтового волокна // Сорбционные и хроматографические процессы. 2013. Т. 13. Вып. 1. С. 10-15.
9. Пономарев А.Н. Высококачественные бетоны. Анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологии // Инженерно-строительный журнал. 2009. №6. С. 25-33.
10. Булярский С.В. Углеродные нанотрубки: технология, управление свойствами, применение. Ульяновск: ООО «Стрежень», 2011. 478 с.
11. Фаликман В.Р. Наноматериалы и нанотехнологии в современных бетонах // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №1. С. 31-34.
12. Васильевская Н.Г., Енджиевская И.Г., Калугин И.Г. Цементные композиции дисперсно-армированные базальтовой фиброй // Вестник ТГАСУ. 2011. №3. С. 153-158.
13. Войлоков И.А. Фибробетон – история вопроса. Нормативная база, проблемы и решения // Международное аналитическое обозрение. 2009. №2. С. 34-43.
14. Белова Т.К., Гурьева В.А., Турчинов В.И. Исследование влияния дисперсного армирования модифицированным базальтовым микроволокном на прочностные свойства цементного раствора // Инженерный вестник Дона. 2015. № 2. <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2015/2883> (дата обращения 28.11.2015).
15. Моргун В.Н., Пушенко О.В. О структуре фибропенобетонов // Инженерный вестник Дона, 2012, №3 <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/955/> (дата обращения 23.11.2015).
16. Гурьева В.А., Белова Т. к. Устройство монолитных полов с применением дисперсно армированных растворов // 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.
17. Бучкин А.В. Мелкозернистый бетон высокой коррозионной стойкости, армированный тонким базальтовым волокном: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Москва, 2011. 130 с.

## Сведения об авторах

**Гурьева Виктория Александровна**, заведующий кафедрой технологии строительного производства архитектурно-строительного факультета Оренбургского государственного университета, доктор технических наук, доцент  
460018, Оренбургская область, г. Оренбург, пр-т Победы, д. 13., тел.: (3532) 372427  
E-mail: victoria-gurieva@rambler.ru

**Белова Татьяна Константиновна**, преподаватель кафедры технологии строительного производства архитектурно-строительного факультета Оренбургского государственного университета  
460018, Оренбургская область, г. Оренбург, пр-т Победы, д. 13., тел.: (3532) 372427  
E-mail: belova\_tatyana\_90@mail.ru