

*Название статьи – Фибра базальтовая .*

*В статье рассматриваются вопросы перспективности использования базальтового волокна в качестве дисперсной арматуры для цементно-песчаной матрицы. Приведены некоторые результаты экспериментальных исследований.*

За рубежом и в России огромное внимание уделяется улучшению эксплуатационных свойств бетона, как основного строительного материала. Огромный сегмент этих исследований занимает дисперсное армирование бетона минеральными волокнами.

Однако недостаточная изученность стойкости волокон в цементной матрице бетона ограничивает области и объем применения фибробетона в строительстве, несмотря на то, что использование неметаллических волокон исключает ряд проблем, связанных с коррозией стальных фибр. Из неметаллических волокон наиболее доступными по экономическим показателям являются стеклянные и базальтовые волокна. Одним из способов повышения стойкости стеклянной фибры является применение щелочестойкого волокна с высоким содержанием оксида циркония. Однако высокая стоимость и сложность технологии получения сдерживает его применение.

Альтернативой щелочестойкому волокну в строительной индустрии является использование базальтовых волокон для дисперсного армирования бетона. Базальтовое волокно отличается не только своими высокими физико-механическими свойствами, но и повышенной химической стойкостью, температуро-, свето- и атмосферостойкостью и, что немаловажно, невысокой стоимостью и экологической безопасностью.

Испытаниями [1, 2] установлено, что все минеральные волокна, независимо от химического состава, вступают в химическое взаимодействие с растворами, имитирующими среду твердеющего бетона на портландцементе. По показателям — количеству поглощенного CaO, количеству растворившегося SiO<sub>2</sub>, количеству связанных щелочей и изменению прочности — минеральные волокна можно выстроить в ряд от наименее к наиболее стойкому: бесщелочное, щелочное, кварцевое, базальтовое, циркониевое.

Исследования базальтового волокна (БВ) выполнялись зарубежными и отечественными организациями, лабораториями, такими как Лаборатория базальтовых волокон Института материаловедения АН Украины, НИИЖБ, ЦНИИПромзданий, ЛатНИИСтроительства, АрмНИИСВ, Basaltex Masureel Group, Department of Textiles (Ghent University Belgium), Penn State (США), Technische Universitet Dresden и др. На основе накопленного опыта исследований в области фибробетона проводится работа по созданию цементных композиций, армированных базальтовым волокном, обладающих высокими физико-механическими характеристиками и повышенной коррозионной стойкостью, в том числе при эксплуатации в агрессивных средах. Основными направлениями являются отработка технологии введения базальтового волокна в цементную матрицу; стабилизация физико-механических свойств; отработка составов смеси для получения базальтофибробетонной повышенной прочности, малой проницаемости с улучшенными деформативными характеристиками.

При сотрудничестве с ОАО «Мосспецпромпроект» разработан турбулентный смеситель пропеллерного типа для приготовления базальтофибробетонных смесей, армированных отрезками базальтовой нити диаметром 13-19 мкм длиной от 10 до 50 мм. В настоящее время в лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ отработана технология введения в смесь тонкого базальтового волокна, с

равномерным распределением элементарных волокон по объему бетонной матрицы. Параллельно проведен подбор и оптимизация составов базальтофибробетонов с различными сроками твердения.

В процессе опытно-экспериментальной работы были решены следующие задачи:

- исследование влияния режимов перемешивания смесей и последовательность введения компонентов смеси, воды затворения, отрезков ровинга, модификаторов и ускорителей набора прочности;
- исследование влияния процентного содержания и длин волокон на физико-механические характеристики;
- отработка оптимальных режимов перемешивания смесей.

Подобраны и оптимизированы составы цементно-песчаных растворов с различными модификаторами, где постоянными факторами являлись содержание цемента и песка при постоянном В/Ц, диаметр базальтового волокна, а варьируемыми факторами являлись длина и процентное содержание базальтового волокна, последовательность загрузки составляющих смеси и режимы приготовления. Результаты испытаний составов базальтофибробетона на физико-механические характеристики представлены в *табл. 1* и на *рис. 1*.

№ состава	Модификатор	БВ	В/Ц	R <sub>сж</sub> ,	R <sub>изг</sub> ,	R <sub>сж</sub> ,	R <sub>изг</sub> ,	R <sub>сж</sub> ,	R <sub>изг</sub> ,
				МПа	МПа	МПа	МПа	МПа	МПа
				1 сут.		7 сут.		28 сут.	
1	–	–	0,40	16,9	4,3	31,5	7,2	37,0	7,5
2	МБ10-01	+	0,40	28,4	7,1	36,8	9,4	37,5	12,3
3	МБ10-01	+	0,28	33,0	7,7	48,5	8,6	51,5	10,9
4	МБ10-01	+	0,37	23,5	9,1	37,2	10,1	43,3	14,6

**Таблица 1.** Физико-механические показатели составов базальтофибробетона. Морозостойкость базальтофибробетона соответствует марке F300, марка по водонепроницаемости W>16

**Рис. 1.** Диаграмма физико-механических показателей составов базальтофибробетона

По результатам определения физико-механических характеристик и по равномерности распределения базальтового волокна были выбраны две схемы приготовления базальтофибробетона: *табл. 2*.

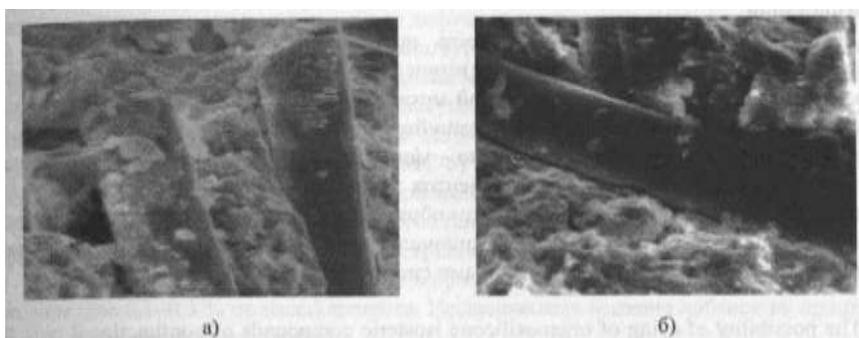
№ этапа	Компоненты	Содержание	Время перемешивания
Схема 1			
1	Цемент (М500) + Добавка	1 часть (Д в % от Ц)	1 мин
2	Вода	В:Ц=0,37	1 мин
3	Песок	2 части (Ц:П=1:2)	1 мин
4	БВ, длина 10, 15, 25	2 % от Ц+П	20 с

	мм, диаметр 10–13 мкм		
Итого			3 мин 20 с
Схема 2			
1	Цемент (М500) + Добавка	1 часть (Д в % от Ц)	1 мин
2	Вода	В:Ц=0,37	1 мин
3	БВ, длина 10, 15, 25 мм, диаметр 10–13 мкм	2 % от Ц+П	10 с
4	Песок Мк=1,5	2 части (Ц:П=1:2)	20 с
Итого			2 мин 30 с

**Таблица 2.** Приготовление смеси в турбулентном смесителе

Так же при испытании образцов на изгиб был отмечен более пластический характер разрушения .

При выдержке образцов в агрессивных средах и ускоренном старении с различными температурными режимами образцов базальтофибробетона на контактной зоне «волокно — цементная матрица» появляются новообразования в результате взаимодействия гидроксида кальция портландцемента с оксидом кремния базальтового волокна. По результатам коррозионных исследований, полученных после воздействия агрессивных сред, можно сказать, что применение модификатора МБ-01 также благоприятно влияет на сохраняемость волокна в цементной матрице (*рис. 2*).



**Рис. 2.** Микрофотографии базальтового волокна в теле бетона после выдержки в агрессивном растворе при температуре 150 °С в течение 30 сут., увеличение 1000: а) без модификатора, б) с модификатором МБ-01

Результаты подтверждают возможность получения высоких прочностей композита в ранние сроки твердения, что очень важно при использовании в ремонтных составах. Также немаловажным фактором является повышенная трещиностойкость образцов при разрушающих нагрузках.

Проведенный подбор оптимальных составов базальтофибробетона показал, что наиболее эффективно применение модификатора полифункционального действия МБ-01, содержащего суперпластификатор и микрокремнезем, который позволяет снизить водоцементное отношение, повысить физико-механические показатели. Проводятся исследования по оценке развития коррозионных процессов базальтового волокна в цементной матрице и оценке долговечности материала.

В основу оценки долговечности положена методика А. А. Пашенко, в которой усовершенствован численный расчет скорости взаимодействия компонентов базальтовых волокон с компонентами матрицы во времени. Это позволяет достоверно прогнозировать долговечность композита сроком до 100 лет.

Для наблюдения за изменением базальтового волокна в цементной матрице, определения наличия продуктов новообразований при взаимодействии волокна с ней во времени применялись петрографический, рентгенографический, электроскопический методы и дифференциально-термический анализ.

Приведенные данные, а также результаты коррозионных исследований [3] позволят определить рациональные области применения цементно-базальтовых композитов повышенной коррозионной стойкости, нормируемой долговечности с обоснованием экономической целесообразности.

### **Литература:**

1. Пашенко А. А. Армирование неорганических вяжущих веществ минеральными волокнами. Наука строительному производству. — М.: Стройиздат, 1988 г.
2. Разработка технологии, конструкторской документации, изготовление и испытания опытно-промышленных партий композитных соединителей слоев бетона и трехслойных стеновых панелей : научно-технический отчет. — М.: НИИЖБ, 1999 г.
3. Penn State (USA) – «Corrosion resistance of basalt fibers» , 2007 г.
4. Technische Universitet Dresden – «Основные свойства цементных систем с тремя типами базальтовых волокон» , 2009 г.