

УДК  
СЕЙСМОУСИЛЕНИЕ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТНЫМИ  
МАТЕРИАЛАМИ И ИЗУЧЕНИЕ ИХ МИКРОСТРУКТУРЫ

**Размухамедов Даниярбек Джахангирович**

*ТХТИ, старший преподаватель кафедры «Физика, электротехника и энергетика»*

*daniyar.razmuhamedov@mail.ru, (90) 9600129*

**Пулатова Лола Таирхановна**

*ФПКПТИГТК РУз, начальник кафедры «Специальных дисциплин»,*

*lorena\_97@mail.ru, (90) 9747502*

**Арипов Саид Азим Арипович**

*Ведущий научный сотрудник отдела ИНИИГЗ МЧС РУз, доцент, кандидат*

*экономических наук*

**Аннотация.** *В данной статье рассмотрены вопросы сейсмической безопасности фибробетонных конструкций, произведенные на основе местного минерального наполнителя, отвечающим международным стандартам. Вопрос структурообразования базальтовой фибры в матрице бетона для улучшения физико-химических и физико-механических параметров строительной конструкции, для обеспечения эффективности работы при чрезвычайных ситуациях. Эффективность использования композиционных материалов в Республике Узбекистан, является приоритетной задачей, так как бетонные конструкции должны выдерживать различные типы нагрузок, и данные химических параметров должны непосредственно показывать структурообразование полученной матрицы раствора. Особое место среди армирующих добавок в бетоны занимает базальтовая фибра, технология введения которой, а также ее количественное содержание в бетонных композициях, влияние на формирование структуры и свойства цементных растворов и бетонов, остается исследуемыми параметрами.*

**Ключевые слова:** *сейсмическая активность, сейсмическая зона, сейсмический потенциал, базальтовая фибра, армирование, микроструктура, макроструктура*

**Введение.** Республика Узбекистан имеет историю повторяющихся землетрясений, с магнитудой  $M_L \geq 7$ , которые периодически приводят к разрушению и обваливанию различных типов конструкций, как гражданского, так и промышленного назначения. Ущерб от сейсмических воздействий, высок, поскольку большинство зданий в Республике Узбекистан построены без учета сейсмических воздействий и требований безопасности. Более 72% зданий в стране построены собственными силами. В муниципальных районах действуют некоторые правила и разрешения на строительство, в то время как в сельской местности системы разрешений не



существуют. Как показывает практика, при выборе проектировочного материала для различных типов конструкций, предназначенных для сейсмических районов, должны быть совместимы с введением жестких стандартов сейсмической безопасности. В данных исследованиях обсуждается вопрос обеспечения сейсмической безопасности, конструктивной безопасности всех типов зданий, включающие в себя преобладающие типы конструкций, этажности, высотности и конфигурации. Вышеперечисленные критерии рекомендуется предусматривать в зданиях из современных материалов, быстровозводимых зданий (обожженного кирпича в цементный раствор, железобетонные здания) и не инженерные здания из традиционных материалов (камень, дерево, глина и т.д.).

Анализ научной литературы показал, что эффективность использования базальтового волокна в матрице бетона, положительно влияет на целостность и трещиностойкость конструкций в момент сейсмической активности. В сравнительном аспекте, базальтофибробетон, в отличие от сталефибробетона (при условии разработки оптимальных способов распределения волокна в матрице и достижения высоких показателей физико-механических свойств самой матрицы), сможет обладать более высокой прочностью и жесткостью, т.к. базальтовое волокно может обеспечить более высокую степень дисперсного армирования цементного камня и обладает более высокой прочностью (1,9-3,9 ГПа) чем стальная фибра (1,2-3,1 ГПа). Кроме того, базальтофибробетон сможет переносить большие упругие деформации потому, что базальтовое волокно при растяжении пластических деформаций практически не имеет, а по модулю упругости ( $E=150$  ГПа) превосходит модуль упругости высокопрочных бетонов в 3 раза. При этом плотность базальтовых волокон ( $3100-3300$  кг/м<sup>3</sup>) почти в 2,5 раза меньше, чем стальных ( $7850$  кг/м<sup>3</sup>), что облегчит конструкции из фибробетона. Благодаря малой толщине волокон (8-12 мкм), которая в 10 раз меньше минимального диаметра стального волокна, применяемого на сегодняшний день, удельная поверхность сцепления с цементной матрицей может достигать до  $10^5$  м<sup>2</sup>/кг, в зависимости от дозировки волокна в цементной системе. Кроме того, ни одна из модификаций других известных волокон не обладает такой широкой сырьевой базой и простой технологической схемы переработки базальтового щебня в тонкое волокно. [1]

**Литературный обзор.** На сегодняшний день, с практической точки зрения, большой интерес представляют разработки, связанные с исследованием норм оценки сейсмической безопасности существующих железобетонных зданий. Необходимость в проведении количественных испытаний для различных типов конструкций, в целях определения механических и химических свойств материала, а именно для характеристики прочности фибробетона и железобетона на сжатие. Согласно вышеперечисленным стандартам свойства материалов можно охарактеризовать путем проведения разрушающих испытаний на ряде образцов материалов. Установлено, что супертонкое волокно реагирует с цементной средой как активная минеральная



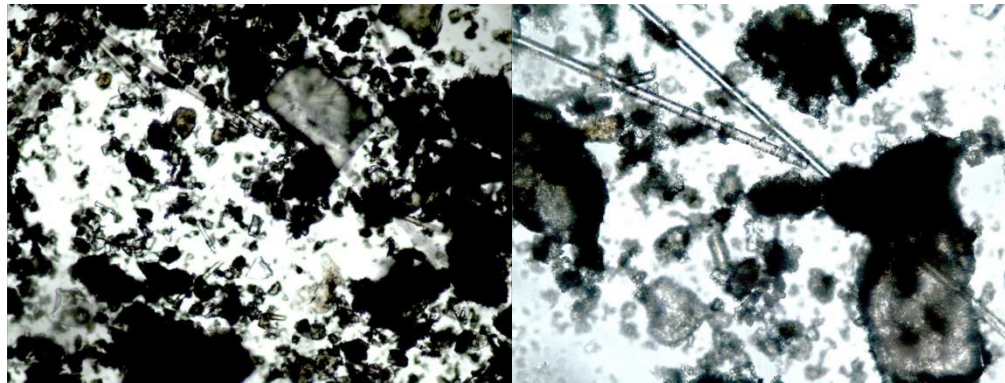
добавка, с последующим образованием кристаллов игольчатой структуры, в результате чего возрастает прочность бетона. Однако, сильнощелочной характер среды оказывает влияние на прочность волокна и, в конечном итоге, на прочностные характеристики армируемого бетона. По вопросу механизма разрушения минеральных волокон в матрицах на основе портландцемента существуют различные точки зрения.[2] В ряде работ показано, что на химическое взаимодействие минерального волокна с гидроксидом кальция, являющегося основным химическим реагентом, разрушающим его, оказывает сильное влияние развитая поверхность самого волокна, обеспечивая тем самым ускорение протекающих процессов деструкции.[3] В то же время, ряд учёных придерживаются мнения о том, что причиной разрушения минеральных волокон в цементных системах является не только химическое, но и механическое действие процессов, развивающихся в цементном камне, в результате на волокнах возникают трещины, снижающие прочность композиционного материала. [4] Установлено, что на площадках контакта «*волокно-матрица*», под действием деформации, возникают усилия, способствующие образованию микротрещин, приводящих, в дальнейшем, к снижению работоспособности волокна. При этом, на границе волокна с матрицей возникает слой новообразований в виде наростов цементной корки, приводящей, в большинстве случаев, к уменьшению прочности волокон и, соответственно, к снижению прочности композита. [5]

В связи с этим, получение высокопрочных базальтофибробетонов целесообразно осуществлять поэтапно, начав с разработки высокопрочных бетонных матриц, а затем оптимизировать технологию их дисперсного армирования базальтовым волокном, открыв дорогу новому типу экономически эффективных, конкурентноспособных и сверхвысокопрочных базальтофибробетонов. [6]

**Анализ и результаты.** В представленной работе, изучение и анализ микроструктуры образцов проводились с помощью высокоразрешающего оптического электронного микроскопа Leica FS 4000/FS4, обеспечивающий высокоточное сравнение объектов исследования при увеличении до 400х, совмещенный с компьютером (рис.1).

Полученные результаты анализировали с использованием специально разработанного пакета программ автоматической обработки, который позволяет получать все морфологические показатели микроструктуры, такие как размер, форма структурных элементов, их ориентация в пространстве, а также давать оценку величины удельной поверхности и пористости.





**Рис. 1.Базальтовая фибра+бетон (увеличение 40х)**

Нами была изучена микроструктура базальтофибробетона, сталефибробетона, а также стандартного образца бетона по серии разномасштабных изображений, охватывающих весь диапазон размеров элементов, находящихся в структуре. Перед проведением анализа осуществляли оценку микроструктуры на предмет ее однородности [7]. При этом, необходимо отметить, что в результатах анализа представлены объективные усредненные значения показателей микроструктуры в случаях её достаточной однородности. В тех случаях, когда отмечается неоднородность микроструктуры, полученные результаты будут соответствовать значениям показателей микроструктуры только в данной точке.

В сравнительном аспекте, преимуществом представленного метода перед другими является то, что он обеспечивает высокоточное сравнение двух объектов при увеличении до 1500х. Кроме того, быстрота проведения анализа позволяет получить за несколько минут необходимую информацию в виде высококачественных изображений в отношении всех микроструктурных показателей базальтофибробетона, сталефибробетона, а также стандартного образца бетона. Однако, получение лишь некоторых микроструктурных показателей образцов традиционными методами, занимает до нескольких недель.

В представленной работе, в качестве вяжущего для бетона применяли портландцемент марки М400 Д0 ГОСТ 31108 «Ахангаран цемент». Физические и химические свойства приведены в табл. 1 и табл. 2.

**Таблица 1.**

**Минералогический состав портландцементного клинкера  
Ахангаранского цементного комбината**

Наименование	Химический состав, %							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Портландцемент М400 Д0 Ахангаранский ГОСТ 31108	23.85	5.75	5.25	60.7	1.07	0,62	0.18	0.29





**Таблица 2.**

**Физико-механические свойства портландцемента**

Вид цемента	Сроки схватывания (час-мин)		Предел прочности через 28 суток твердения, (МПа)		Равномерность изменения объема
	Начало	Конец	Изгиб	Сжатие	
Портландцемент М400 Д0 Ахангаранский ГОСТ 31108	1-20	5-30	5.60	32.9	выдержал

Все образцы, изготовленные в ходе исследований, имели одинаковое водоцементное отношение В:Ц=0,6 и расход минеральной активной добавки 3,6% от массы смеси. Взвешивание цемента, заполнителя и воды затворения, производили на лабораторных весах МК-32.2-А20 с точностью до 5 г. Взвешивание фибры и добавки осуществляли на лабораторных весах ВЛТЭ-1200 с точностью до 0,01 г. [8] Приготовление бетонных и фибробетонных смесей осуществляли в лабораторном смесителе принудительного действия. Процесс перемешивания состоял из нескольких этапов, сначала в чашу смесителя засыпали заполнители и перемешивали в сухом состоянии в течение 1 минуты, затем загружали цемент, и перемешивали сухие компоненты до достижения визуальной однородности. На следующем этапе исследований, добавляли воду затворения, после чего перемешивание продолжалось в течение 2 минут. Затем, в готовую бетонную смесь вводились волокна и смешивание компонентов производили ещё в течение 2 минут с периодическим визуальным контролем подвижности смеси и равномерности распределения волокон по объему замеса.

В представленной работе, основная цель исследования состояла в установлении влияния базальтовой фибры на микроструктуру контактной зоны, в которой, в результате реакций между дисперсными частицами базальта и гидратированным портландцементом, образуются стабильные низкоосновные гидросиликаты кальция вместо кристаллических слоев гидроксида кальция. Данный процесс обусловлен уменьшением толщины контактной зоны, обуславливая тем самым образование более плотной и однородной её микроструктуры.

**Заключение**

В целях получения композиционно-минерального заполнителя с использованием местного экологически чистого сырья, был проведен комплекс фундаментальных и прикладных исследований, позволяющих сделать следующие выводы:



1. Изучены бетонные смеси и бетоны, применяемые для монолитного строительства, стойкие к сейсмическим воздействиям, воздействиям переменных температур, влажности, отличающиеся быстрым схватыванием и высокой стойкостью против действия агрессивных сред, в том числе долговечностью.

2. Установлены новые закономерности и особенности структурообразования многокомпонентных цементных систем, позволяющие решать широкий круг задач проектирования составов бетонов, обладающих требуемым комплексом свойств при чрезвычайных ситуациях.

5. Установлен характер влияния процессов структурообразования в бетонной смеси при перемешивании и формировании, с последующим выделением необходимых порций воды при твердении бетона. Это приводит к снижению напряжений в твердеющем композите и, как следствие, к уменьшению количества и размеров микротрещин, что предопределяет повышение эксплуатационных характеристик промышленных зданий и транспортных сооружений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Daniyarbek D. Razmuhamedov, Askhad M. Polatov, Akhmat M. Ikramov. Computational design of nonlinear stress-strain of isotropic materials // Chemical Technology, Control and Management. – 2021. – Vol.2021. – № 2. – P.19 – 27.

2. Левчук, Н.В. Физико-химические и технологические аспекты применения базальтовой фибры // Вестник Брест. гос. техн. ун-та. – 2017. №1: Строительство и архитектура. – С.135-138.

3. Войлоков И.А. Канаев С.Ф. Базальтофибробетон. Исторический экскурс // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – №4. – С.26 –31.

4. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография. – М.: АВС, 2004. – 560 с.

5. Е.Г.Величко, Ю.С.Шумилина. К проблеме формирования дисперсного состава и свойств высокопрочного бетона // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 235-243.

6. Razmuhamedov D.D., Polatov A.M., Abdullayev F.B. Innovative approaches in the field of reinforcing reinforced concrete bridges based on the use of composite materials // European Journal of Technical and Natural Sciences. – 2020. – № 5 (6). – P. 25–35.

7. Жуков, А. Д. Армирующие волокна в технологии бетонов / Жуков А.Д., В. А. Рудницкая, Т. В. Смирнова // Вестник МГСУ. – 2012. – № 4. – С. 160–164.

8. Anvar Adylkhodjayev, Ilkhom Kadyrov and others. To the question of the influence of the intensity of active centers on the surface of mineral fillers on the properties of fine-grained concrete // International Journal of innovative technology and exploring engineering (IJTEE). – 2019. – Vol. 8. – № 9. – P.219 – 222.

