

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН И НАНОКРЕМНЕЗЕМА В СОСТАВЕ ФИБРОЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

© *Урханова Л. А.*, доктор технических наук, профессор  
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и  
управления,  
Россия, 670031, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В  
E-mail: urkhanova@mail.ru

© *Буянтуев С. Л.*, доктор технических наук, профессор  
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и  
управления,  
Россия, 670031, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В  
E-mail: buyantuevsl@mail.ru

© *Лхасаранов С. А.*, кандидат технических наук,  
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и  
управления,  
Россия, 670031, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В  
E-mail: urkhanova@mail.ru

© *Очирова Н. Н.*, Восточно-Сибирский государственный университет  
технологий и управления,  
Россия, 670031, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В  
E-mail: urkhanova@mail.ru

В статье представлены результаты по использованию минеральных волокон в качестве дисперсно-армирующего компонента фибробетона. Введение нанокремнезема в состав фибробетона повышает коррозионную стойкость минерального волокна за счет связывания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  во время гидратации портландцемента. Определены физико-механические свойства цемента с введением минеральных волокон, полученных из базальта и золошлаковых материалов и нанокремнезема. Значительное улучшение свойств фибробетона связано с комплексным действием минеральных волокон и нанокремнезема.

**Ключевые слова:** дисперсное армирование, фибробетон, портландцемент, базальтовое волокно, нанокремнезем, температура гидратации, микроструктура, физико-механические свойства

Развитие промышленности строительных материалов связано с улучшением физико-механических и эксплуатационных характеристик бетона, бетонных изделий и конструкций. Известно, что прочность бетона при изгибе значительно ниже прочности на сжатие. Для решения данной проблемы применяется дисперсное армирование, способствующее не только росту физико-механических характеристик, но и улучшению деформативных свойств, трещиностойкости и долговечности бетона [1]. При производстве фибробетона перспективным по ряду причин является использование минеральных волокон, например тонкого штапельного волокна и базальтового ровинга, которые получают преимущественно центробежно-фильтрным способом и характеризуются стабильностью свойств, однородностью по диаметру и низким содержанием «корольков».

Получение минеральных волокон возможно с использованием электротермического метода для плавления исходного сырья [2, 3]. В отличие от ваграночного и ванного способов при электротермическом методе многостадийность процессов заменяется одностадийностью, что позволяет сократить затраты на оборудование и облегчает его эксплуатацию. Использование данного метода для получения минеральных волокон является перспективным в Байкальском регионе, богатом месторождениями базальтов. Кроме того для производства минеральных волокон можно использовать золошлаковые отходы. Гидроотвалы золошлаковых материалов занимают большие площади, а их содержание требует значительных эксплуатационных затрат и повышают себестоимость энергоносителей. Переработка техногенных отходов в эффективные строительные материалы является важной научно-технической задачей. На основе электротермического плавильного агрегата запущен мини-завод по выпуску теплоизоляционных волокнистых материалов в г. Гусиноозерске, Республика Бурятия. Формование минерального волокна осуществляется центробежно-дутьевым способом, являющимся наиболее распространенным для производства минеральных волокон благодаря высокой производительности и относительной экономичности по сравнению с другими.

Минеральные волокна из базальта (БВ) и золошлаковых отходов (ЗШВ) имеют характеристики, представленные в таблице 1.

Таблица 1

## Характеристики минеральных волокон

Характеристика	Базальтовое	Золошлаковое
Средний диаметр волокон, мкм	10	8
Прочность на разрыв, МПа	1350	1390
Химическая стойкость (потеря массы), % при обработке:		
- HCl	69,3	78,57
- KOH	91,5	90,56

Успешное использование минеральных волокон невозможно без обеспечения их коррозионной стойкости различными способами [4-6]. Авторы исследования [7] обобщили различные подходы к решению данной проблемы и выделили основные направления защиты минерального волокна от действия щелочной среды:

- использование бесцементных и малоцементных вяжущих в фибробетоне;
- модификация поверхности минеральных волокон;
- модификация структуры минеральных волокон;
- введение добавок, снижающих щелочность среды фибробетона.

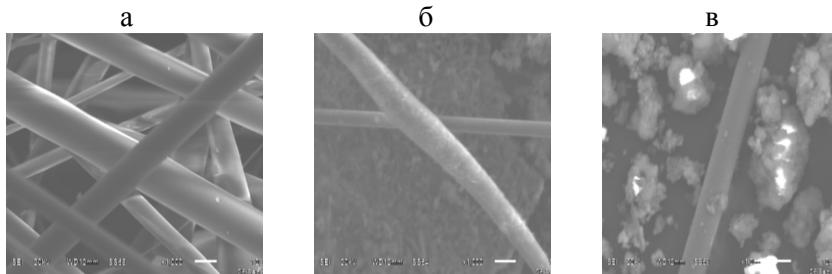
Каждое из представленных направлений имеет свои преимущества и недостатки, применение которых должно определяться качественным эффектом улучшения показателей конечного продукта и технико-экономической целесообразностью. По направлению использования добавок, снижающих щелочность среды, проведено достаточно много исследований и базируются они в основном на применении кремнеземсодержащих добавок различного состава и происхождения [4, 5]. Стоит отметить, что механизм воздействия таких добавок на цемент и базальтовые волокна является комплексным, и дозировки таких добавок варьируются в широком интервале (5-20%). Кремнеземсодержащие добавки, используемые для этих целей, имеют в основном микроуровневый размер частиц, исходя из которого определяется механизм и кинетика гидратации цементной системы. Исследование механизма действия наноразмерных кремнеземсодержащих добавок на цементную систему, в которой присутствуют дисперсные волокна, изучен недостаточно широко.

Целью проводимых исследований явилось определение изменения коррозионной стойкости минерального волокна в составе твердеющего цемента при использовании в его составе нанокремнезема (НК) Таркосил-05<sup>®</sup>.

Нанодисперсный кремнезем Таркосил-05<sup>®</sup> со средним размером частиц — 53 нм и удельной поверхностью — 50,6 м<sup>2</sup>/г получен на ускорителе электронов по методу [8] в Институтах ядерной физики СО РАН и теоретической и прикладной механики СО РАН.

Существует несколько подходов по оценке коррозионной стойкости базальтового волокна в среде твердеющего бетона [4-6]. В работе [6] базальтовые волокна помещаются в водную вытяжку из цементного молочка, и оценивается изменение их структуры и свойств при выдерживании при обычной температуре. В других работах [5] волокна помещаются в хлоридсодержащую среду при повышенных температурах. Проводятся также исследования по выдерживанию и наблюдению состояния волокна в составе фибробетона в течение длительного времени в естественных условиях [4].

Для оценки химической стойкости базальтового волокна был использован ускоренный способ путем кипячения волокна в насыщенном растворе извести по методике Пащенко А.А. [9]. Образцы исходного минеральных волокон кипятили в насыщенном растворе гидроксида кальция (рН=12,1) в течение 4 часов. В качестве сравнения волокно кипятили в растворе гидроксида кальция с добавлением НК в количестве 1% по объему. На рисунке 1 приведены снимки образцов базальтового и золошлакового волокна до и после кипячения, выполненные на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Jeol JSM 6510 LV при увеличении x1000.



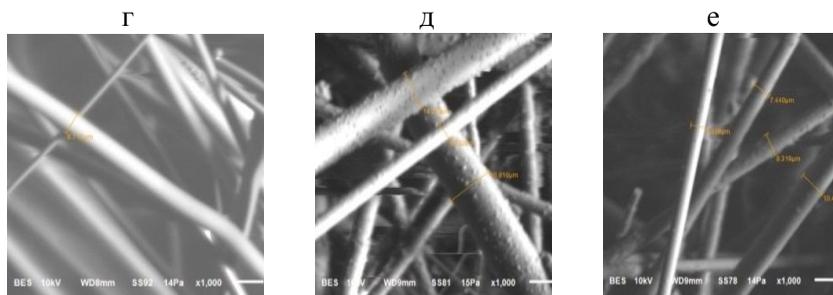


Рис. 1. РЭМ поверхности минеральных волокон: исходное — а) ЗШВ, г) БВ; после кипячения в растворе извести — б) ЗШВ, д) БВ; после кипячения в растворе извести с добавлением НК: в) ЗШВ, е) БВ

Исходные волокна до кипячения характеризуется ровной и гладкой поверхностью (рис. 1, а, г), после кипячения видны следы взаимодействия извести с волокном, вызывающее появление дефектов и новообразований на поверхности (рис. 1, б, д). Поверхность волокна, прокипяченного с добавлением в раствор НК, осталась гладкой и ровной с незначительными вкраплениями новообразований, продуктов взаимодействия НК с известью (1, в, е). Сравнивая волокна, полученные из различных сырьевых материалов, можно наблюдать, что количество дефектов и вкраплений на поверхности базальтового волокна больше, чем на поверхности золошлакового волокна, что связано с большей коррозионной стойкостью данного вида волокон.

Дальнейшее сравнение проводили по физико-механическим свойствам цементного камня, модифицированного минеральными волокнами и нанокремнеземом. (рис. 2). Совместное использование БВ и НК повышает прочность при сжатии после 28 суток на 25%, прочность при изгибе на 64% по сравнению с контрольным составом. При использовании ЗШВ и НК прочность при сжатии возрастает на 31%, а прочность при изгибе на 70%. НК, обладая развитой удельной поверхностью и повышенной химической активностью, взаимодействует с образующейся при гидратации цемента известью, предотвращая коррозию базальтового волокна. Это сказывается на увеличении прочности цементного камня и усилении армирующего эффекта минеральных волокон.

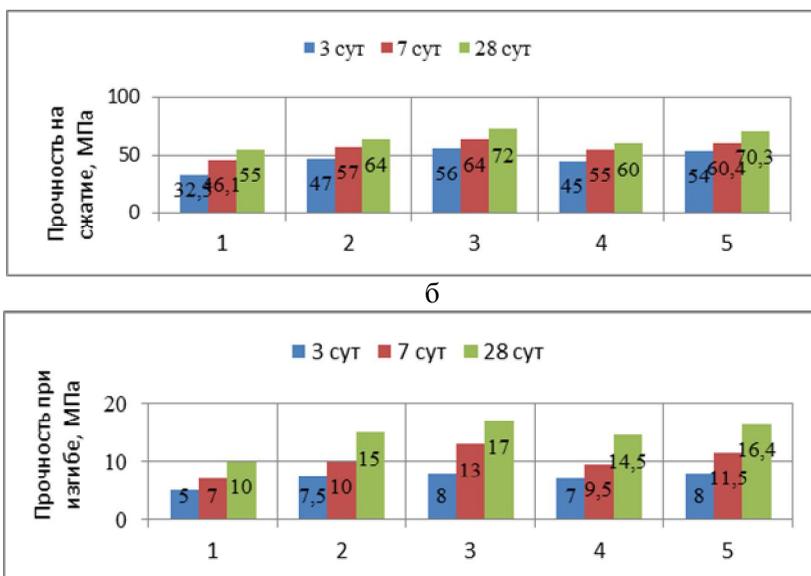


Рис. 2. Прочность на сжатие (а) и при изгибе (б) фиброцементных композитов: 1 — контрольный, 2 — с волокном, полученным из золошлаковых материалов; 3 — с волокном, полученным из золошлаковых материалов, и нанокремнеземом; 4 — с базальтовым волокном; 5 — с базальтовым волокном и нанокремнеземом

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- доказано увеличение коррозионной стойкости минерального волокна из базальта и золошлаковых отходов в среде гидратирующегося цемента за счет введения в цементную матрицу нанодисперсного кремнезема. НК связывает  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , выделяющегося при гидратации цемента, тем самым предотвращая щелочную коррозию волокна;

- совместное введение минерального волокна и нанокремнезема приводит к повышению физико-механических характеристик фиброцементных композиций.

*Статья подготовлена в рамках выполнения проектной части государственного задания в сфере научной деятельности № 13.892.2014/К по теме «Получение новых композиционных материалов из расплавов горных пород и золошлаковых отходов в плазменнодуговом реакторе и ис-*

*следование их физико-технических и эксплуатационных свойств» ВСГУТУ.*

### **Литература**

1. Пухаренко Ю.В. Реставрация и строительство: потенциал фиброармированных материалов и изделий // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 4. URL: [www.science-education.ru/104-6582](http://www.science-education.ru/104-6582) (дата обращения 25.02.2015)
2. Буянтуев С.Л., Могнонов Д.М., Бадмаев Б.Б., Пашинский С.Г., Малых А.В. Мини-завод по производству теплоизоляционных материалов из базальта на основе электромагнитного плавильного агрегата с низкими удельными энергозатратами // *Вестник ВСГУТУ*. 2012. № 1 (36). С. 16-20.
3. Буянтуев С.Л., Кондратенко А.С. Исследование физико-химических свойств минеральных волокон, полученных с помощью электромагнитного технологического реактора // *Вестник ВСГУТУ*. 2013. № 5 (44). С. 123-129.
4. Боровских И.В., Хозин В.Г. Изменение длины базальтовых волокон при получении композиционного вяжущего для высокопрочных базальто-фибробетонов // *Известия КазГАСУ*, 2009, №2 — С. 234-238.
5. Бучкин А.В., Степанова В.Ф. Мелкозернистый бетон высокой коррозионной стойкости, армированный тонким базальтовым волокном // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 1. С. 47-49.
6. Бабаев В.Б., Строкова В.В., Нелюбова В.В. Базальтовое волокно как компонент для микроармирования цементных композитов // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*, (2012), 4, 58-61
7. Сарайкина К.А., Голубев В.А., Семкова Е.Н. Щелочестойкость базальтового волокна и способы ее повышения // *Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура*. 2012. № 1. С. 185-192.
8. Лукашов В.П., Бардаханов С.П., Салимов Р.А., Корчагин А.И., Фадеев С.Н., Лаврухин А.В. Способ получения ультрадисперсной двуокиси кремния, устройство для его осуществления и ультрадисперсная двуокись кремния // Патент РФ № 2067077. 1996.
9. Пащенко А.А. Армирование неорганических вяжущих веществ минеральными волокнами. Наука — строительному производству. М.: Стройиздат. 1988. 382 с.

### **USE OF MINERAL FIBERS AND NANOSILICA IN THE FIBER CEMENT COMPOSITIONS**

*L. A. Urkhanova*, Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
East Siberia State University of Technology and Management,  
Ulan-Ude, Russia

*S. L. Buiantuev*, Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
East Siberia State University of Technology and Management,  
Ulan-Ude, Russia

*S. A. Lkhasaranov*, Ph.D East Siberia State University  
of Technology and Management  
Ulan-Ude, Russia

*N. N. Ochirova* East Siberia State University  
of Technology and Management,  
Ulan-Ude, Russia

In article the results of the use of mineral fiber as a reinforcing component for concrete are presented. Introduction of the nanosilica to fiber cement compositions improves the corrosion resistance of the mineral fiber, due to the fact that nanosilica binds  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  during Portland cement hydration. physical and mechanical properties of cement and fiber-reinforced concrete with the introduction of mineral fibers from basalt and slag waste materials and nanosilica. are determined A significant improvement of the properties of fiber-reinforced concrete is due to the complex action of mineral fibers and nanosilica.

*Keywords*: disperse fiber reinforcement, fiber-reinforced concrete, Portland cement, basalt fiber, nanosilica, temperature of hydration, microstructure, physico-mechanical properties