

## Применения базальтовой фибры в портландцементных системах

Natalia Levchuck<sup>1\*</sup>, Ekaterina Shlyahova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Environmental Engineering and Chemistry, Brest State Technical University, Brest, Moskovskaya 267, Belarus

<sup>2</sup> Department of Technology of Construction Production, Brest State Technical University, Brest city, Moskovskaya 267, Belarus

\* [patent@bstu.by](mailto:patent@bstu.by)

### Аннотация

При изучении литературных источников авторами статьи был выявлен ряд спорных вопросов, касающихся физико-химических процессов, протекающих в портландцементной системе с добавлением базальтовой фибры.

В связи с этим была проведена серия экспериментов по изучению свойств базальтовой фибры, обработанной коллоидным гидроксидом алюминия, а также предложена технология введения ее в бетонную смесь и представлен анализ результатов эксперимента.

### Ключевые слова

напрягающий цемент, базальтовая фибра, коллоидный раствор, физико-химические процессы, хемосорбция, портландцементная система

### 1. Введение

Исследование отечественными и зарубежными учеными свойств базальтового волокна, как армирующей добавки, показывает высокую эффективность его использования в цементных системах. Вследствие разнообразных составов цементных систем, а также процентного содержания оксидных составляющих базальтовых пород, установлено, что цементные системы оказывают различное влияние на механические и химические свойства базальтового волокна.

В литературных источниках влияние удельной поверхности базальтовых волокон на их стойкость в среде твердеющего бетона недостаточно изучено и имеется

много противоречивых данных. 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. Одни авторы (Войлоко 2009) указывают на химическое взаимодействие минерального волокна с гидроксидом кальция, который

является основным химическим реагентом, разрушающим его, а сильно развитая поверхность волокна способствует ускорению протекающих процессов разрушения. Другие (Рабинович 2004) исследователи считают, 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. Установлено, что на площадках контакта «волокно-матрица» под действием деформации возникают усилия, которые способствуют образованию микротрещин, приводящих в дальнейшем к снижению работоспособности волокна, т.е. на границе волокна с матрицей возникает слой новообразований в виде наростов цементной корки, которая приводит в большинстве случаев к уменьшению прочности волокон и, соответственно, к снижению прочности композита.

В результате физико-химических процессов изменяется состав волокон, структура их поверхностного слоя, увеличиваются размеры имеющихся поверхностных дефектов – эти процессы, являются причиной снижения прочности волокон и композиций на их основе. Вместе с тем, реакции на поверхности «волокно-цементная матрица» могут и улучшать свойства композита в следствие повышения адгезии матрицы к волокну, монолитности системы и улучшения условий совместимости нагружения волокон в композите.

Для оценки влияния базальтового волокна на структуру цементной матрицы были сделаны следующие предположения: – базальтовая фибра, состоящая из аморфной фазы должна активно хемосорбционно взаимодействовать с цементной системой, с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция.

Исследования по изучению взаимодействия высокоразвитой поверхности

волокон любого вида со щелочными растворами  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$  обусловлены сложным комплексом процессов, идущих параллельно и накладывающихся друг на друга: гидратация и гидролиз поверхности волокон; растворение кремнезема, катализируемое ионами  $\text{OH}^-$ ; сорбция и хемосорбция, в результате чего ионы кальция и алюминия адсорбируются на поверхности и связывают кремнезем в труднорастворимые гидросиликаты и гидроалюминаты кальция, которые создают на поверхности волокна плотный слой новообразований. Исследованиями (Федоркин, Когай 2014) по анализу параметров длительной прочности волокон базальтового волокна диаметром 6,7; 15,1; 33,4; 117,0 мкм, подвергнутых воздействию среды  $\text{Ca(OH)}_2$ , имитирующих щелочную среду портландцементов установлено, что наиболее интенсивное поглощение  $\text{CaO}$  из щелочного раствора происходит в первые 3-6 месяцев и степень поглощения возрастает по мере увеличения площади поверхности контакта со щелочной средой. Авторами установлено, что с увеличением диаметра волокна уровень поглощения  $\text{CaO}$  единицей площади поверхности повышается и имеет затухающий характер. Этот вывод является сомнительным и опровергает предыдущий, поскольку поглотительная или адсорбционная способность любого пористого материала возрастает с увеличением удельной площади поверхности материала.

Очевидно, что, при получении фибробетонов, с использованием базальтовых волокон, необходимо учитывать размер и диаметр волокон. С применением базальтовых волокон диаметром 10-15 мкм, прочность при растяжении образцов увеличивается до 1850-2150 МПа., в то время как в грубодисперсной структуре, с диаметром волокна 100 мкм, прочность составляет 460-220 МПа. Рядом авторов показано, что композиты на основе цементных матриц и базальтовых волокон имеют переменную во времени прочность

при растяжении вдоль волокон, изменение которой зависит от количества волокон и их диаметра. Минеральные волокна сравнительно больших диаметров от 100 мкм, несмотря на более низкую прочность при разрыве, имеют повышенные значения модуля упругости, но такие волокна обладают более высоким уровнем коррозионной устойчивости к воздействию среды гидратирующего цемента. Исследования показывают, что с увеличением объемного содержания волокон от 1 до 3% и уменьшении диаметра от 250 до 50 мкм при длине 40 мм прочностные характеристики повышаются на 26-62% по сравнению с не армированным бетоном. Из источника (Новицкий, Ефремов 2010) известно, что при содержании волокна в цементной матрице менее 5% наблюдается тенденция к снижению прочности, в тоже время образцы, содержащие 7-10% волокон имеют незначительную прочность. Снижение прочности с увеличением процента армирования, авторы объясняют необходимостью увеличения водоцементного отношения, неравномерным распределением волокон по объему смеси, недоуплотнением смесей неотработанной технологией перемешивания. По мнению авторов (Перфилов, Зубова 2015), исследование влияния высокодисперсных волокнистых наполнителей на механические свойства фибробетонов с использованием базальтового микроармирующего волокна длиной 12 мм и диаметром 10 мкм, приводит к росту показателей прочности образцов на сжатие и изгиб что объясняется сцеплением базальтовых волокон с цементно-песчаной матрицей. Однако, увеличение расхода фибры приводит к ее комкованию, снижению прочностных показателей. По данным результатов испытаний оптимальным является состав фибробетона с концентрацией базальтовой фибры 1,4 кг/м<sup>3</sup>. Отсюда можно сделать вывод, что оптимальная концентрация фибры может определяться и оставаться постоянной, но степень дисперсности волокон

фибры может варьироваться, в зависимости от прочностных показателей.

С этой точки зрения особое значение уделяется технологии приготовления фибробетонов. Известно, что неравномерное распределение волокон по всему объему цементной матрицы является одной из основных проблем в технологии приготовления фибробетонов, поскольку на стадии перемешивания происходит армирование бетонов волокнами. Было предложено снизить возможность комкования волокна за счет постепенной загрузки волокна в смеситель использование смесей с высокой подвижностью с применением пластификаторов, снижающих повышенную водопотребность (Зубова 2014).

Таким образом, анализируя данные литературных источников, можно сделать следующие выводы:

- очевидно, что применение базальтового волокна в качестве армирующего материала является высокоэффективным с точки зрения прочностных и экономических соображений;
- имеются противоречивые данные о механизме химического и хемосорбционного взаимодействия базальтового волокна и цементной системы, поскольку не учитывается возможность участия в химическом взаимодействии других композиционных составляющих, таких как сульфат-ионы, которые являются обязательным компонентом в составе портландцемента;
- учитывая наличие в составе базальтовой фибры низкоосновных оксидов, не исключено их участие как в хемосорбционных процессах, так и в процессах формирования новообразований;
- недостаточно изучены адсорбционные свойства базальтового волокна, которые зависят от структуры пор, их величины, распределения по размерам, необходимо учесть то, что

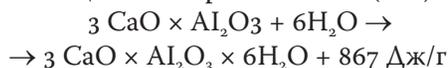
адсорбционная способность материала зависит от микропоровой структуры волокна.

- недостаточно изучено влияние соотношения диаметров волокон базальтовой фибры и их объемного содержания в армируемых материалах.
- необходима дальнейшая разработка технологий получения фибробетонов для достижения более равномерного распределения армирующих волокон.

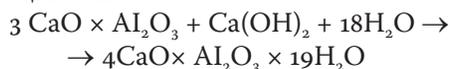
## 2. Методы испытаний

Учитывая указанные проблемы, в Брестском государственном техническом университете на кафедре технологии бетона и строительных материалов была предпринята попытка получения бетонов, армируемых базальтовой фиброй, предварительно обработанной коллоидным гидроксидом алюминия, полученным электрохимическим способом.

Наши предположения основываются на том, что фибра, обработанная таким раствором, будет поглощать поверхностью агрегаты коллоидного  $\text{Al}(\text{OH})_3$  образую «защитный» слой, способный реагировать с минералами портландцементного клинкера по механизму гидратации алюминатов кальция без образования  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ :



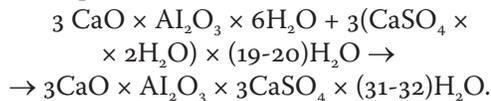
Повышение содержания  $3 \text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3$  без участия гипса вызывает протекание реакции типа:



В результате этой реакции образуются гели гидроалюминатов кальция, способные заполнить поровые пространства фибры.

Кроме того, в качестве раствора затворения был использован коллоидный гидроксид алюминия, способный взаимодействовать с гипсом, содержащимся в составе портландцемента.

При взаимодействии с гипсом трехкальциевый алюминат образует эттрингит по реакции:



По нашему мнению, он способен оказать влияние на тонкодисперсное волокно базальтовой фибры, создавая дополнительные напряжения в поровом пространстве микрофибры, тем самым разрушая ее.

Поскольку коллоидный гидроксид алюминия находится в высокоактивной форме и является раствором затворения появляется вопрос о способе введения минерального вяжущего вещества. Предварительно обработанная фибра равномерно распределена во всем объеме раствора и при равномерной подаче портландцемента в раствор, происходит его распределение, а также более интенсивное растворение зерен портландцемента в пространстве между волокнами фибры, что препятствует ее комкованию и в конечном итоге способствует увеличению прочности бетона.

Основным контролируемым параметром напрягающего цемента являлась величина самонапряжения (*Цемент напрягающий* 2002). Для определения основных показателей напрягающего цемента существуют методы и оборудование подробно описанные в СТБ 1335 (*Цемент напрягающий* 2002). Для определения прочности на растяжение при изгибе и прочности на сжатие использовали гидравлический пресс марки с CONTROLS AUTOMAX, данный пресс является универсальным лабораторным прессом, позволяющим проводить испытания в условиях контроля скорости сжатия и изгиба, а также нагрузки на образец.

Контрольные измерения связанных деформаций опытных образцов производили для напрягающего цемента в возрасте 1,3,7,14,21,28 суток в соответствии с указаниями нормативных документов.



Рисунок 1 – Базальтовая фибра

Таблица 1 – Значения величины самонапряжения напрягающего цемента

Серия образцов	Самонапряжение, МПа (в возрасте 28 суток)
Серия I	5,2
Серия II	6
Серия III	6,1
Серия IV	5,5

Испытаниям подвергали следующие образцы:

- Серия I – образцы из цементной смеси;
- Серия II – образцы из цементной смеси, армированные базальтовой фиброй;
- Серия III – образцы из цементной смеси, армированные базальтовой фиброй, затворенной коллоидным раствором гидроксида алюминия;
- Серия IV – образцы из цементной смеси, армированные базальтовой фиброй, измельченной в мельнице и затворенной коллоидным раствором гидроксида алюминия.

Для наглядного представления протекания процесса роста величины самонапряжения опытных образцов четырех серий на протяжении 28 суток, были построены графические зависимости, представленные на рисунке 2.

Конечные значения величины самонапряжения серий образцов из напрягающего цемента в возрасте 28 суток представлены в таблице 1.

На основании полученных данных был проведен сравнительный анализ образцов всех серий. Значения величины самонапряжения образцов армированных базальтовой фиброй (серия II, III, IV) превышают значения образцов, не армированных базальтовой фиброй (серия I).

Определение прочности на сжатие и растяжение при изгибе цементных растворов серий I, II, III, IV выполняли в возрасте 3,7,14 и 28 суток.

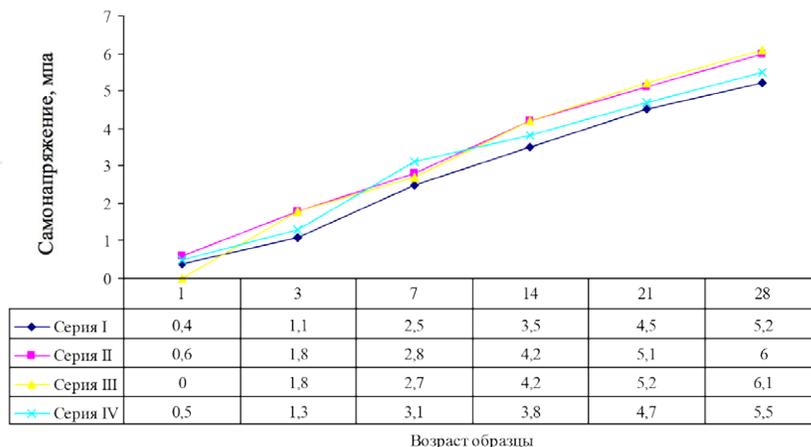


Рисунок 2 – График развития самонапряжения во времени

### 3. Результаты

Результаты испытаний представлены в виде гистограмм на рисунках 3,4. Значения прочности на сжатие и на растяжение

при изгибе образцов из напрягающего цемента в возрасте 28 суток представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Прочностные характеристики напрягающего цемента

Серия образцов	Средняя прочность на растяжение при изгибе, МПа (в возрасте 28 суток)	Средняя прочность на сжатие, МПа (в возрасте 28 суток)
Серия I	8,06	57,3
Серия II	10,42	60,62
Серия III	8,79	60,48
Серия IV	7,82	64,04

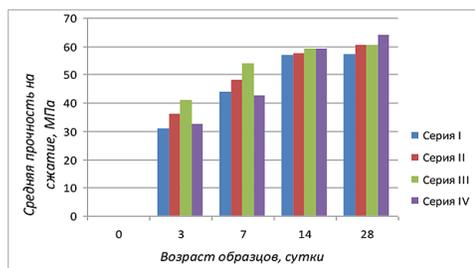
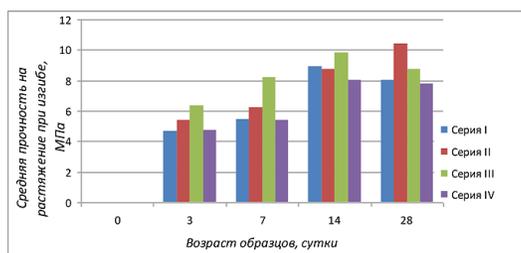


Рисунок 3 – Прочностные характеристики опытных образцов на растяжение при изгибе

Рисунок 4 – Прочностные характеристики опытных образцов на сжатие

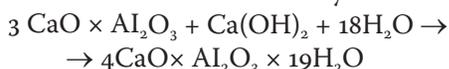
#### 4. Выводы

Прочность на растяжение при изгибе у образцов с базальтовой фиброй, обработанной коллоидным раствором гидроксида алюминия равномерно возрастает и показывают самые высокие результаты на протяжении 28 суток твердения.

Прочность на растяжение при изгибе образцов с измельченной фиброй имеет несколько меньшие значения, однако, в период твердения с 7 по 14 сутки резко увеличивается набор прочности на изгиб на 19%, в то время как прочность образцов с базальтовой фиброй возрастает только на 11%.

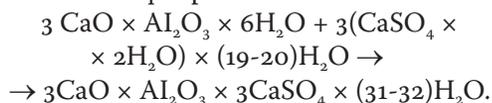
В то же время самую высокую прочность на сжатие показывают образцы с измельченной базальтовой фиброй. Такой результат подтверждает участие измельченной базальтовой фибры в процессах структурообразования цементного камня и подтверждает ее модифицирующие свойства. Однако, измельчение фибры снижает ее армирующие показатели.

Участие коллоидного раствора. Исследование показали, что при обработке базальтовой фибры раствором коллоидного гидроксида алюминия прочностные показатели образцов за 28 суток твердения возрастают на 33% относительно контрольной серии образцов. Увеличение прочности образцов на изгиб можно объяснить одновременным влиянием коллоидного гидроксида алюминия на хемосорбционные процессы базальтового волокна и на ускорение процессов растворения и химического взаимодействия минералов портландцементного клинкера с коллоидным гидроксидом алюминия. Кроме того, гидроксид кальция, являющийся основным химическим реагентом разрушающим базальтовое волокно будет участвовать в процессах образования алюмосиликатов по механизму:



А участие метаксаолина и гипса в процессах структурообразования цементного камня может происходить не на

поверхности базальтового волокна, а на поверхности агрегатов коллоидного гидроксида алюминия адсорбированного базальтовой фиброй



По нашему мнению такие процессы приводят к формированию более прочной структуры цементного камня и бетона в целом.

#### Литература

- Войлоков И.А., Канаев С.Ф., 2009, *Базальтофибробетон. Исторический экскурс*, Инженерно-строительный журнал, no. 4. 26-31. (Voylovkov I.A., Kanayev S.F., 2009, *Bazal'tofibrobeton. Istoricheskiy-ekskurs*, Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal, no. 4. 26-31.)
- Рабинович Ф.Н., 2004, *Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции*, Москва: М.: АВС. (Rabinovich F.N., 2004, *Kompozity na osnove dispersno-armirovannykh betonov. Voprosy teorii i proyektirovaniya, tekhnologiya, konstruksii*, Moskva: M.: ABC.)
- Федоркин С., Когай Э., 2014, *Стойкость базальтово гволокна в карбонатных дисперсно-армированных бетонах*, MOTROL Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, vol. 16, no. 1, 25-30. (Fedorkin S., Kogay-E., 2014, *Stoykost' bazal'tovo govolochna v karbonatnykh dispersno-armirovannykh betonakh*, MOTROL Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, vol. 16, no. 1, 25-30.)
- Новицкий А.Г., Ефремов М.В., 2010, *Аспекты применения базальтовой фибры для армирования бетонов*, Сборник Строительные материалы, изделия и санитарная техника, no. 36. (Novitskiy A.G., Yefremov M.V., 2010, *Aspekty primeneniya bazal'tovoy fibry dlya armirovaniya betonov*, Sbornik Stroitel'nyye materialy, izdeliya i sanitarnaya tekhnika, no. 36.)
- Перфилов В.А., Зубова М.О., 2015, *Влияние базальтовых волокон на прочность мелкозернистых фибробетонов*, Интернет-Вестник ВолгГУСУ. Сер.: Политематическая, Вып. 1(37), <http://www.vestnik/vgasu.ru>. (Perfilov V.A., Zubova M.O., 2015, *Vliyaniye bazal'tovykh volokon*

*na prochnost' melkozernistykh fibrobetonov*, Internet-Vestnik VolgGUSU. Ser.: Politematicheskaya, Вып. 1(37) <http://www.vestnik/vgasu.ru>.)

Зубова М.О, 2014, *Мелкозернистые бетоны с применением базальтовой фибры и комплексных модифицирующих добавок*, Волгоград. (Zubova M.O, 2014, *Melkozernistyye betony sprimeneniyem bazal'tovoy fibry i kompleksnykh modifitsiruyushchikh dobavok*, Volgograd.)

*Цемент напрягающий. Технические условия: СТБ 1335-2002*, – Введ. 01.01.2003 – Мн.; Минстройархитектуры, 2002. – 11 с. (*Tsement napyagayushchiy. Tekhnicheskiye usloviya: STB 1335-2002*, – Vved. 01.01.2003 – Mn.; Minstroyarkhitektury, 2002. – 11 s.)

## Applications of basalt fibre in Portland cement systems

### Abstract

While studying the research sources, the authors of the article investigated a number of issues concerning the physicochemical processes taking place in the Portland cement system with the addition of basalt fibre. A series of experiments was conducted to study the properties of basalt fibre treated with colloidal aluminium hydroxide, the technology of injection fibre into the concrete mixture was proposed and an analysis of the results of the experiment was presented.

### Keywords

straining cement, basalt fibre, colloidal solution, physicochemical processes, chemisorption, Portland cement system

## Zastosowania włókna bazaltowego w cementach portlandzkich

### Streszczenie

W badaniach źródeł literatury przedmiotu autorzy artykułu ujawnili szereg kontrowersyjnych zagadnień związanych z procesami fizykochemicznymi zachodzącymi w systemie cementu portlandzkiego z dodatkiem włókna bazaltowego. W związku z tym przeprowadzono serię eksperymentów w celu zbadania właściwości włókna bazaltowego potraktowanego koloidalnym wodorotlenkiem glinu. Zaproponowano technologię wprowadzania włókna bazaltowego do mieszanki betonowej i przedstawiono analizę wyników eksperymentalnych.

### Słowa kluczowe

cementowanie, włókno bazaltowe, roztwór koloidalny, procesy fizykochemiczne, chemisorpcja, cement portlandzki