

УДК 691.544

Левчук Н.В., Шляхова Е.И.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ БАЗАЛЬТОВОЙ ФИБРЫ

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 [1] 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 [2] 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 следствии повышения адгезии матрицы к волокну, монолитности системы и улучшения условий совместимости нагружения волокон в композите.

Постановка эксперимента. Для оценки влияния базальтового волокна на структуру цементной матрицы были проведены следующие исследования: выполнен химический и рентгенофазовый анализ состава волокна [3], и 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 высокопрочной поверхности волокон любого вида со щелочными растворами NaOH, KOH, Ca(OH)₂ обусловлены сложным комплексом процессов, идущих параллельно и накладывающихся друг на друга: гидратация и гидролиз поверхности волокон; растворение кремнезема, катализируемое ионами 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 [4] по анализу параметров длительной прочности волокон базальтового волокна диаметром 6,7; 15,1; 33,4; 117,0 мкм, подвергнутых воздействию среды Ca(OH)₂, имитирующей щелочную среду портландцементов установлено, что наиболее интенсивное поглощение 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 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 [5] 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

Таблица 1 – Химический состав базальтового волокна

Содержание оксидов, %								Суммарное содержание остальных оксидов
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	Mg O	Na ₂ O	K ₂ O	Ti O ₂	
48,15	16,72	12,66	9,61	4,56	3,54	1,86	1,60	1,25

Левчук Наталья Владимировна, к.т.н., доцент кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Шляхова Екатерина Ивановна, аспирант кафедры технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

необходимостью увеличения водоцементного отношения, неравномерным распределением волокон по объему смеси, недоуплотнением смесей неотреботанной технологией перемешивания. По мнению авторов [6], 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/м³. 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.

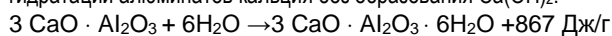
С этой точки зрения особое значение уделяется технологии приготовления фибробетонов. Известно, что неравномерное распределение волокон по всему объему цементной матрицы является одной из основных проблем в технологии приготовления фибробетонов, поскольку на стадии перемешивания происходит армирование 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 [7].

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

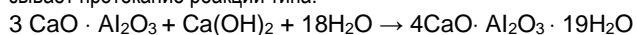
- очевидно, что применение базальтового волокна в качестве армирующего материала является высокоэффективным с точки зрения прочностных и экономических соображений;
- имеются противоречивые данные о механизме химического и хемосорбционного взаимодействия базальтового волокна и цементной системы, поскольку 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.

Учитывая указанные проблемы, на кафедре ТБ и СМ БрГТУ была предпринята попытка получения бетонов, армируемых базальтовой фиброй, предварительно обработанной коллоидным гидроксидом алюминия, полученным электрохимическим способом, при электролизе воды с активным алюминиевым электродом.

Наши предположения основываются на том, что фибра, обработанная таким раствором, будет поглощать поверхностью агрегаты коллоидного Al(OH)₃ образуя «защитный» слой, способный реагировать с минералами портландцементного клинкера по механизму гидратации алюминатов кальция без образования Ca(OH)₂:



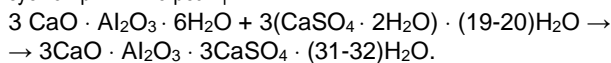
Повышение содержания $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ без участия гипса вызывает протекание реакции типа:



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 этtringит 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.

Приготовление цементных композитов осуществлялось в соответствии с рекомендуемой технологией: базальтовую фибру предварительно измельчили в мельнице и затворили коллоидным раствором гидроксида алюминия на 3-е суток, в полученный раствор постепенно добавляли метакаолин, гипс и портландцемент с постоянным перемешиванием в строительном миксере.



Рисунок 1 – Базальтовая фибра

Основными контролируемыми параметрами напрягающего цемента являлись величина самонапряжения и линейного расширения согласно [8]. Для определения основных показателей напрягающего цемента существуют методы и оборудование подробно описанные в СТБ 1335 [8]. 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 образце.

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

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 и линейного расширения опытных образцов четырех серий на протяжении 28 суток, были построены графические зависимости, представленные на рисунке 2.

Конечные значения величины самонапряжения и линейного расширения серий образцов из напрягающего цемента в возрасте 28 суток представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения величин свободных и связанных деформаций напрягающего цемента

Серия образцов	Самонапряжение, МПа (в возрасте 28 суток)	Линейное расширение, % (в возрасте 28 суток)
Серия I	5,2	0,53
Серия II	6	0,7
Серия III	6,1	0,7
Серия IV	5,5	0,75

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).

Что же касается значений линейного расширения, то величина линейного расширения образцов, армированных базальтовой фиброй превосходит значения величины линейного расширения образцов, не армированных базальтовой фиброй.

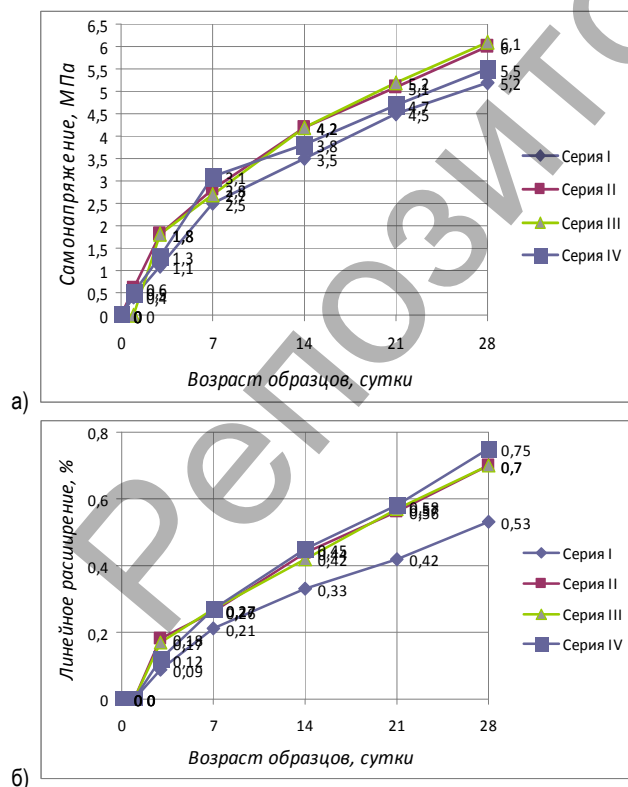


Рисунок 2 – График развития самонапряжения (а) и линейного расширения (б) во времени

Определение прочности на сжатие и растяжение при изгибе цементных растворов серий I, II, III, IV выполняли в возрасте 3,7,14 и 28 суток. Результаты испытаний представлены в виде гистограмм на рисунках 3,4.

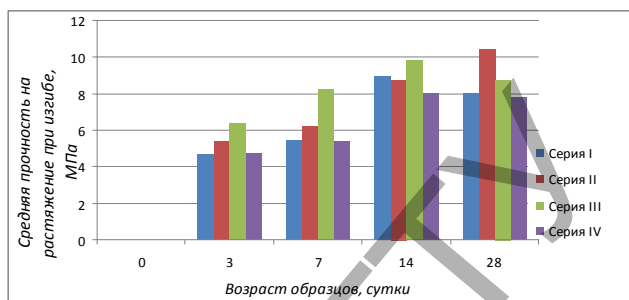


Рисунок 3 – Прочностные характеристики опытных образцов на растяжение при изгибе

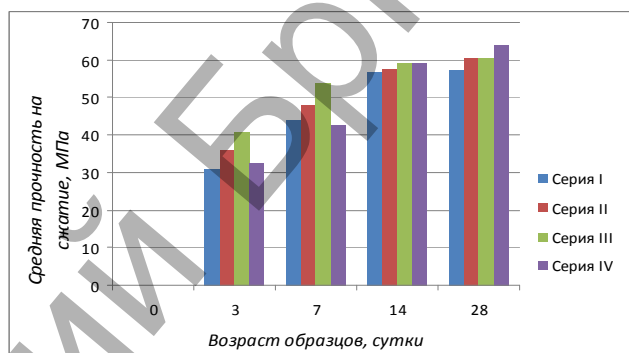


Рисунок 4 – Прочностные характеристики опытных образцов на сжатие

Значения прочности на сжатие и на растяжение при изгибе образцов из напрягающего цемента в возрасте 28 суток представлены в таблице 3.

Таблица 3 – 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

Заключение. 1. 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.

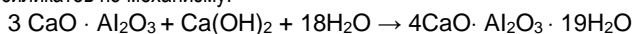
Прочность на растяжение при изгибе образцов с измельченной фиброй имеет несколько меньшие значения, однако, в период твердения с 7 по 14 сутки резко увеличивается набор прочности на изгиб на 19 %, в то время как прочность образцов с базальтовой фиброй возрастает только на 11%.

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.

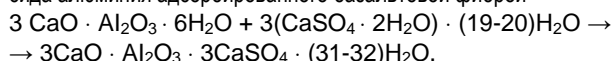
2. Участие коллоидного раствора.

Исследование показали, что при обработке базальтовой фибры раствором коллоидного гидроксида алюминия прочностные показатели образцов за 28 суток твердения возрастают на 33% относи-

тельно 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 метакаолина 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.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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

2. Рабинович, Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография. – Москва: АВС, 2004. – 560 с.
3. Васильевская, Н.Г. Цементные композиции, дисперсно-армированные базальтовой фиброй / Н.Г. Васильевская, И.Г. Енджиевская, И.Г. Калугин // Вестник ТГАСУ. – 2011. – № 3. – С. 153–158.
4. Федоркин, С. Стойкость базальтового волокна в карбонатных дисперсно-армированных бетонах / С. Федоркин, Э. Когай.
5. Аспекты применения базальтовой фибры для армирования бетонов / А.Г. Новицкий, М.В. Ефремов // Сборник Строительные материалы, изделия и санитарная техника. – 2010. – № 36.
6. Перфилов, В.А. Влияние базальтовых волокон на прочность мелкозернистых фибробетонов. ISSN 1994-0351 Интернет / В.А. Перфилов, В.А., Зубова, М.О. // Вестник ВолГУСУ. – Сер.: Политематическая, 2015. – Вып. 1(37). <http://www.vestnik/vgasu.ru>.
7. Зубова, М.О. Мелкозернистые бетоны с применением базальтовой фибры и комплексных модифицирующих добавок: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.23.05 / М.О. Зубова – Волгоград: Волг. гос. арх.-стр. ун-т, 2014. – 21 с.
8. Цемент напрягающий. Технические условия: СТБ 1335-2002. – Введ. 01.01.2003 – Минск: Минстройархитектуры, 2002. – 11 с.

Материал поступил в редакцию 28.04.2017

LEVCHUK N.V., SHLYANOVA E.I. Physical and Chemical Technological Aspects of Fibre Application

Physical and Chemical processes of basalt fibre interaction with colloid hydroxide aluminium in Portland cement system. The technology of cement mortars with basalt fibre is presented in the article.

УДК 336.27

Радчук А.П., Куган С.Ф.

СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА

Введение. Эффективность работы строительного предприятия (организации) зависит от множества факторов как внешней, так и внутренней среды. В настоящее время строительная отрасль находится в серьезном экономическом кризисе, вызванном, прежде всего падением спроса, уменьшением объемов строительства жилья, объемов промышленного и социального назначения.

Возникает достаточно много сложностей при выходе на внешние рынки. В существующих условиях обеспечить жизнеспособность строительной организации необходимо максимально использовать внутренние факторы, направленные, прежде всего, на снижение себестоимости, а, следовательно, и цены строительной продукции.

В недалеком прошлом спрос на строительную продукцию был достаточно устойчив, емкость рынка позволяла расширяться. Платежеспособность большинства заказчиков, в том числе физических лиц, не вызвала сомнений.

Как следствие, эти и другие факторы создали иллюзию у некоторых руководителей об эффективности системы корпоративного управления. В итоге принимались как стратегические, так и тактические решения без достаточных экономических расчетов. Например: заказы на закупку дорогостоящего оборудования, в том числе за счет кредитных ресурсов под большие проценты; расширение собственного производства без учета конъюнктуры рынка и др.

В последние годы ситуация на рынке строительной продукции сильно изменилась. При высокой конкуренции обеспечить свою жизнеспособность и получать прибыль, достаточную для дальнейшего развития, смогли не все организации.

В таких условиях, в значительной степени возрастает роль эффективных управленческих решений, учитывающих конъюнктуру изменения рынка строительной продукции и влияние факторов внешней и внутренней среды.

Анализ использования приемов и методов управленческого учета в организациях строительной отрасли. Для руководителей предприятий, экономических служб, в том числе, в строительной отрасли, авторами этих строк был проведен целый ряд семинаров, тренингов по вопросам снижения затрат и их управлением, подготовке и принятии стратегических решений в различных условиях, с учетом ограниченного спроса и недостаточных ресурсов. Проведенный среди руководителей предприятий анализ показал, что при принятии решений элементы управленческого учета используются частично или полностью исключены. А решения руководителями, в основном, принимаются с учетом личного производственного опыта и интуиции.

В сложившихся условиях руководителю любого предприятия, в том числе строительного, необходимо владеть информацией о критических объемах производства, степени влияния изменения постоянных и переменных затрат на расчетную прибыль, какое воздействие на прибыль имеет изменение цены, какому виду деятельности, работам следует отдать предпочтения в условиях ограниченного спроса или ограниченных ресурсов. В то же время опыт проведенных семинаров показывает, что эти и другие элементы управленческого учета часто руководством не учитываются. В большинстве строительных организаций не учитывается влияние операционного

Радчук Анатолий Петрович, к.т.н., доцент, профессор кафедры менеджмента, декан экономического факультета Брестского государственного технического университета.

Куган Светлана Федоровна, к.э.н., доцент кафедры менеджмента, заместитель декана экономического факультета Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.