

УДК 691.32:620.17

М.Г. Габидуллин – доктор технических наук, профессор

Р.Т. Багманов – соискатель

А.Я. Шангараев – инженер

E-mail: gabmah@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКЛОФИБРЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОФИБРОБЕТОНА

АННОТАЦИЯ

Применение стеклофибробетона приводит к необходимости определения путей обеспечения его свойств. В работе представлены результаты исследований стеклофибробетона при различной дозировке и длине фибры.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: стеклофибробетон, стеклофибра.

M.G. Gabidullin – doctor of technical sciences, professor

R.T. Bagmanov – researcher

A.Ya. Shangaraev – engineer

Kazan State University of Architecture and Engineering

RESEARCH OF INFLUENCE CHARACTERISTICS GLASS FIBRE ON PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES GLASS FIBRE REINFORCED CONCRETE

ABSTRACT

Use glass fibre reinforced concrete leads to necessity of definition ways for maintenance of its properties. In work results of researches glass fibre reinforced concrete are presented at a various dosage and length of a fiber.

KEYWORDS: glass fibre reinforced concrete, glass fibre.

Опыт строительства в стране и за рубежом показывает, что фибробетон – это один из перспективных строительных материалов XXI века [1]. Исследование дисперсно-армированных бетонов позволяет выпускать облегченные строительные конструкции с повышенной прочностью. Помимо экономических соображений, выбор волокна обуславливается тем, какими свойствами должна обладать композиция для удовлетворения заданным требованиям. Изучение возможности замены стекловолокном других волокон в бетоне показало, что получаемый прочный и относительно легкий композит с высокой вязкостью разрушения представляется весьма перспективным [2].

Стеклофибробетон сочетает в себе положительные свойства бетона, касающиеся высокой прочности на сжатие и, вместе с тем, благодаря включению в работу стеклофибры, он имеет повышенные показатели трещиностойкости, водонепроницаемости, эксплуатационной стойкости. Фибробетон, в сравнении с бетоном аналогичной марки, может иметь предел прочности на растяжение при изгибе выше в 4-5 раз, на осевое растяжение выше в 3-4 раза, ударную вязкость больше в 15-20 раз, а это важно для эксплуатации значительной части конструктивных элементов. Основные достоинства изделий из стеклофибробетона – их повышенная декоративность, архитектурная выразительность и пластичность, что может быть использовано для улучшения облика зданий. Все это способствовало увеличению интереса к стеклофибробетону и расширению областей его эффективного использования в строительстве.

Эффективность стеклофибробетона подтверждена зарубежным и отечественным опытом его применения в различных областях строительства. Первые упоминания об армировании бетонных конструкций стекловолокном относятся к 1941 г. В начале 50-х годов XX века в СССР был разработан стеклофиброцемент на основе фибры из алюмоборосиликатного стекла, которое, однако, оказалось нестойким в щелочной среде твердеющего бетона. В Англии было разработано щелочестойкое стекловолокно марки «Цем-Фил», нашедшее широкое применение в мировой

строительной практике. Позднее в СССР было разработано отечественное цирконийсодержащее щелочестойкое стекловолокно марок Ш-15-ЖТ, СЦ-6 [3]. Работы, относящиеся к исследованиям стеклоармированных композиций на основе цементных вяжущих, получили свое отражение в трудах К.Л. Бирюковича, П.П. Будникова, М.Т. Дулебы, М.А. Краснова, Т.Г. Маркаряна, Р.М. Мхикяна, А.А. Пашенко, В.М. Рудого, В.П. Сербина [4].

В России исследования и разработки по созданию стеклофибробетонных конструкций с их применением основываются в значительной мере на фундаментальных исследованиях, относящихся к технологии изготовления, теории, расчету и проектированию железобетонных конструкций. Развитию производства и применения стеклофибробетона в отечественной практике во многом способствовало введение в действие Ведомственных строительных норм «Проектирование и основные положения технологий производства фибробетонных конструкций» ВСН 56-97.

Отечественный опыт характеризуется эффективным применением стеклофибробетонных цокольных плит и панелей с различным рельефом. В коттеджном строительстве применялись большеразмерные панели совмещенной кровли с рельефом классической черепицы. Эффективно используется стеклофибробетонная декоративная плитка на белом датском цементе для устройства навесных вентилируемых фасадов многоэтажных зданий. Для малоэтажного строительства перспективно применение изделий с листовой стеклофибробетонной обшивкой, в т.ч. и в многослойных панелях с легкой теплоизоляцией. В монолитном домостроении и при реконструкции существующих зданий оптимальным решением является применение стеклофибробетонных навесных панелей, в результате чего становится возможным обновлять фасады и кардинальным образом изменить архитектурный облик реконструируемых зданий. Успешно используется стеклофибробетон в специальных областях строительства и при благоустройстве. Долговечность и стойкость СФБ в условиях воздействия внешней среды позволили применить стеклофибробетонные изделия в инженерных сооружениях на МКАД, на третьем транспортном кольце г. Москвы в качестве несъемной опалубки-облицовки путепроводов в пролетных строениях, системах водостоков на скоростных автомагистралях, для облицовки тоннелей [6].

Стеклофибробетон рекомендуется для изготовления конструкций, в которых могут быть наиболее эффективно использованы следующие его технические преимущества, по сравнению с бетоном и железобетоном:

- повышенные трещиностойкость, ударная вязкость, износостойкость, морозостойкость и атмосферостойкость;
- сокращение времени первичного и окончательного твердения, ускорение оборота форм 45 %;
- сокращение риска повреждения, разрушения при извлечении из формы: снижение риска откалывания углов и граней;
- возможность использования более эффективных конструктивных решений, чем при обычном армировании, например: применение тонкостенных конструкций, конструкций без стержневой или сетчатой распределительной и поперечной арматуры и др.;
- возможность снижения или полного исключения расхода стальной арматуры, например в конструкциях с экономической ответственностью;
- снижение трудозатрат и энергозатрат на арматурные работы, повышение степени механизации и автоматизации при производстве фибробетонных конструкций, например, сборных тонкостенных оболочек, складок, ребристых плит покрытий и перекрытий, дорожных покрытий, монолитных и сборных полов промышленных и общественных зданий, конструкций несъемной опалубки и др.;
- возможность применения новых, более производительных приемов формования армированных конструкций, например, пневмонабрызга, погипа свежееотформованных листовых изделий [5].

Главный компонент стеклофибробетона, определяющий его уникальные свойства и исключительные эксплуатационные характеристики, – это стекловолокно, выполняющее функции арматуры в бетонной матрице. Между тем, бетонные матрицы на основе портландцемента обладают значительной щелочностью. Причем эта щелочная среда присутствует в бетоне не только на этапе его производства, но и сохраняется в нем впоследствии. Когда стеклянные волокна применяют в качестве армирующего материала в сочетании с портландцементом, волокно должно противостоять воздействию содержащейся в цементе щелочи в течение длительного времени. Волокно из обычного алюмоборосиликатного стекла не стойко в щелочной среде бетона, поэтому для армирования используют стекло другого химического состава – на базе циркония.

Производственная практика выявила, что армирование бетона стекловолокном, обладающим высокой химической устойчивостью к щелочной среде, стало возможным благодаря направленной выработке волокон из стекол специальных составов [7, 8].

Производством стеклянной фибры в настоящее время занимается множество зарубежных компаний. В Японии производится массово щелочестойкое стекловолокно «Эрфайб», а для специального применения создано более стойкое к воздействию щелочей стекловолокно «Эрфайб-супер». Мировым лидером является японский стекольный концерн "Ниппон Электрик Гласс" / Nippon Electric Glass Co. Ltd (NEG). Также известны и другие производители, такие как: Fibre Technologies International Ltd (Бристоль, Англия), L'Industrielle De Prefabrication (Прист, Франция), Cem-Fil (Чикаго, США) и др. В настоящее время началось производство стекловолокна в Китае.

До 2003 года щелочестойкое стекловолокно под маркой СЦ-6 в России производил Концерн «Техстекло» (НПО «Стекло»). Также в настоящее время, совместно с германской компанией «P-D Glasseiden GmbH Oschatz», ведется строительство завода стекловолокна и продукции на его основе в г. Елабуга. Начало производства стекловолокна запланировано на апрель 2010 г.

Стеклофибра дозируется в смесь в разных объемах на 1 м³ бетона. Так, например, в зависимости от технологии производства дозировка варьируется в пределах 30-100 кг/м³.

В исследованиях использовались следующие материалы.

1. В качестве вяжущего:

- цемент белый AALBORG WHITE ® (производство Дания), «Portlandcement CEM I 52,5 R», в соответствии с единым стандартом EN 197-1: 2000 применена CE-маркировка: EC: 1035-CPD-70054. Упакован в мешках по 25 кг. Начало схватывания – 120 мин., конец – 240 мин. Прочность при сжатии: требование стандарта – более 38,0 МПа, после термообработки фактическая прочность – 42,83 МПа;

- Вольский портландцемент со свойствами, приведенными в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики Вольского портландцемента

Наименование показателей	Единицы измерения	Численные значения свойств цемента
Средняя активность в возрасте:		
- 3 суток,	МПа	33,8
- 28 суток	МПа	54,5
Нормальная плотность	%	24
Сроки схватывания:		
- начало,	мин.	145
- конец	мин.	200
Минералогический состав:		
- C ₃ S,	%	64
- C ₂ S,	%	17
- C ₃ A,	%	4
- C ₄ AF	%	15
Тонкость помола	%	10,5
Содержание SO ₃	%	2,28

2. В качестве мелкого заполнителя использовался мытый обогащенный речной песок производства г. Зеленодольск (РТ), свойства которого приведены в таблице 2.

Таблица 2

Свойства песка

Наименование параметров	Единицы измерения	Требование стандарта	Протокол испытаний ЛИАЦ «Качество»
Насыпная плотность	кг/м ³	-	1525
Содержание пылевидных и глинистых частиц	%	не более 5	0,2
Содержание глины в комках	%	не более 0,5	0
Модуль крупности	-	-	1,37
Песок относится	-	-	ко II классу
Группа песка	-	-	«очень мелкий»

3. Армирование осуществлялось щелочестойкой стеклофibrрой (пр-во Китай), длиной 5, 10, 20, 30 мм, нарубленной из ровинга. Дозирование нарубленной стеклянной фибры в бетонную матрицу осуществлялось в объеме 5, 10, 15, 20, 25 кг/м³. Характеристики фибры приведены в таблице 3.

Таблица 3

Свойства стеклоровинга AR-GLASS FIBER SPRAY UP ROVING

Наименование параметров	Единицы измерения	STANDART: JC/T572-2002	Данные из паспорта качества поставщика
Содержания циркония	%	14,5 ± 0,8	14,78
Отклонение веса бобины	%	≤ 6	2,4
Влажность	%	< 0,2	0,027
Модуль эластичности (Юнга)	ГПа	70-74	72,0
Температура плавления	град. С	830	860
Растяжение на разрыв	%	2 % или 60 кгс	2,4
Предел прочности на растяжение	МПа	-	1800

Высушенный песок, цемент и стекловолокно смешивали в лабораторной чаше вручную до получения гомогенного состава, затем добавляли воду до образования однородной массы. Формовали контрольные образцы балочки 0,04x0,04x0,16 м на стандартной лабораторной виброплощадке и затем их выдерживали в камере твердения в нормальных температурно-влажностных условиях, в соответствии с требованиями ГОСТ 18105.0-80 и ГОСТ 8829-85. Испытания прочности образцов проводились по стандартной методике.

По результатам испытаний были получены зависимости прочностных свойств стеклофибробетона от количества вводимой фибры.

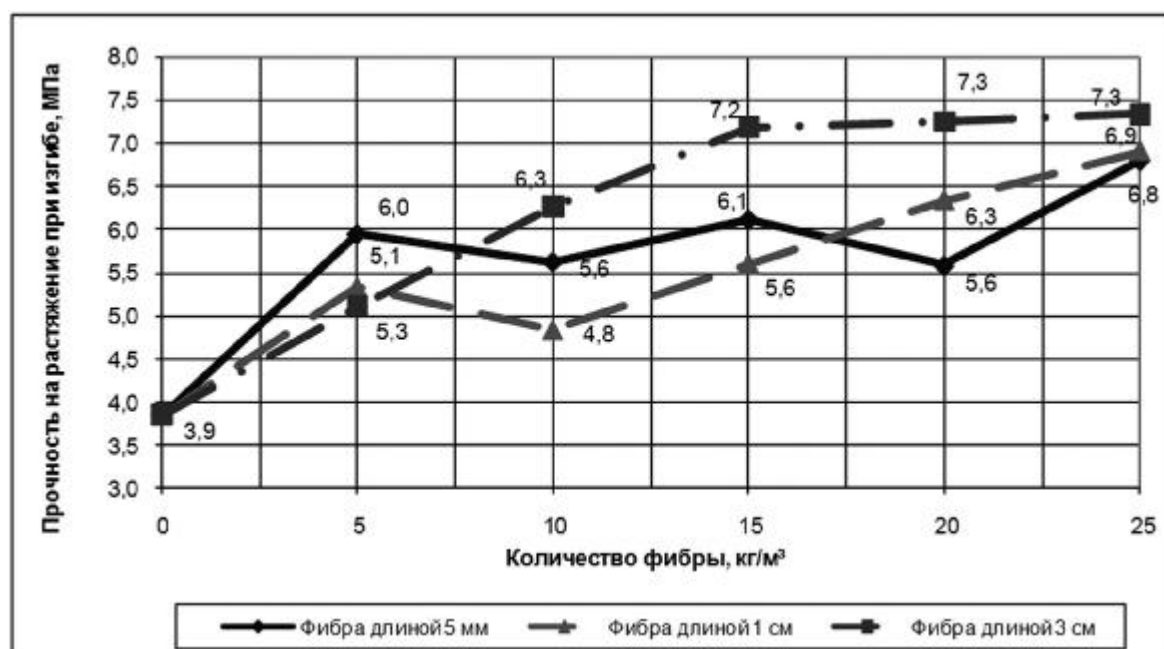


Рис. 1. Зависимости изменения прочности на растяжение при изгибе фибробетона на цементе Aalborg (Дания) от количества и длины волокон стеклянной фибры

Анализ характера кривых на рис. 1 показывает, что армирование бетонной матрицы на датском цементе стеклянной фиброй способствует увеличению прочности бетона на растяжение при изгибе, по сравнению с бетоном без армирования, причем в лучшей степени для волокон длиной 1 см, а затем по степени убывания для волокон длиной 0,5 и 3 см.

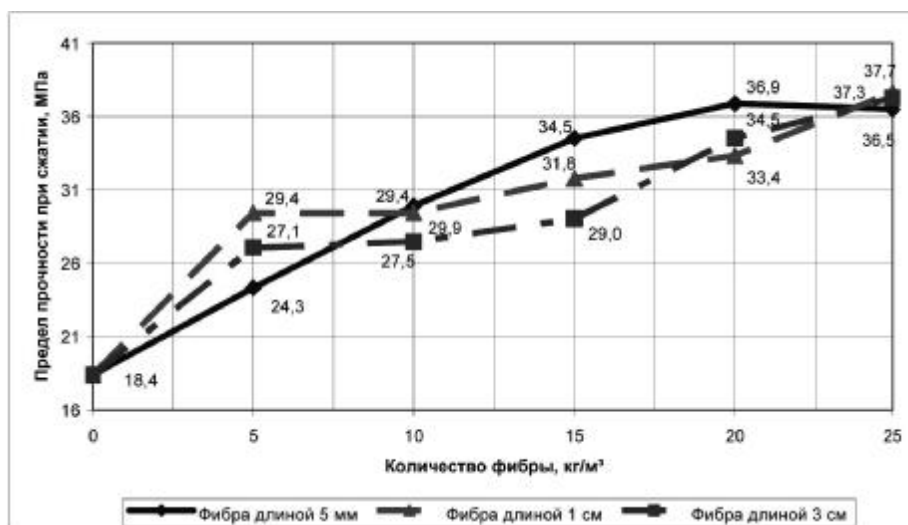


Рис. 2. Зависимости изменения предела прочности при сжатии фибробетона на цементе Aalborg (Дания) от количества и длины волокон стеклянной фибры

При максимальном введении фибры (до 25 кг/м³) прочность на растяжение при изгибе увеличивается по сравнению с матрицей на 74 %, на 76,9 % и на 87,2 % соответственно для длины волокон в 0,5, 1,0 и 3,0 мм. В то же время, экономически целесообразнее ограничиться дозировкой фибры, равной 5 кг/м³, для волокон длиной 0,5 и 3 мм, а для длины 1 мм лучше вводить до 15 кг/м³, так как дальнейшее увеличение объема фибры сверх указанных практически не способствует повышению прочности.

Аналогичный характер кривых наблюдается и для зависимости прочности фибробетона при сжатии от количества волокон (рис. 2). С увеличением дозировки стеклянной фибры от нуля до 25 кг/м³ прочность на сжатие увеличивается с 18,4 до 36,5-37,7 МПа. При дозировке волокон до 5 % прочность увеличивается на 59,8 %, 47,3 % и 32,1 %, соответственно для волокон длиной 1,0, 3,0 и 0,5 см, а при дальнейшем увеличении объема волокон в смеси происходит примерно равное возрастание прочности фибробетона независимо от длины волокна.

На рис. 3 и 4 представлены зависимости изменения прочности на растяжение при изгибе и на сжатие стеклофибробетона от вида цемента и объема фибры. Видно, что на Вольском цементе прочность бетонной матрицы значительно выше, чем на датском цементе: на растяжение при изгибе на 15,4 %, при сжатии на 15,6 %, а при увеличении дозировки стеклянной фибры прочность возрастает и характер кривых практически не зависит от вида цемента. Армирование стеклянной фиброй способствует увеличению прочности на растяжение при изгибе бетона на Вольском цементе на 17,8 % при 15 % фибры, а прочность на сжатие – на 28 %.

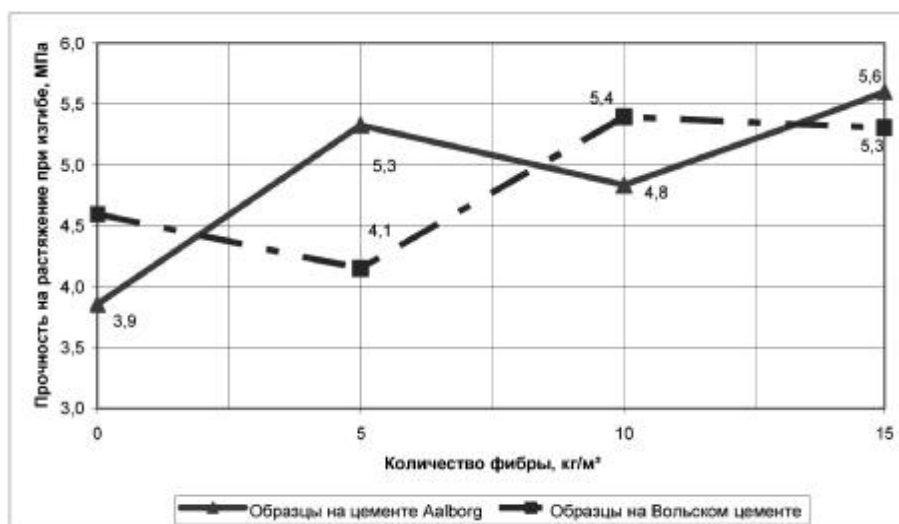


Рис. 3. Зависимости изменения прочности на растяжение при изгибе стеклофибробетона на различных видах цемента от количества фибры длиной 1 см

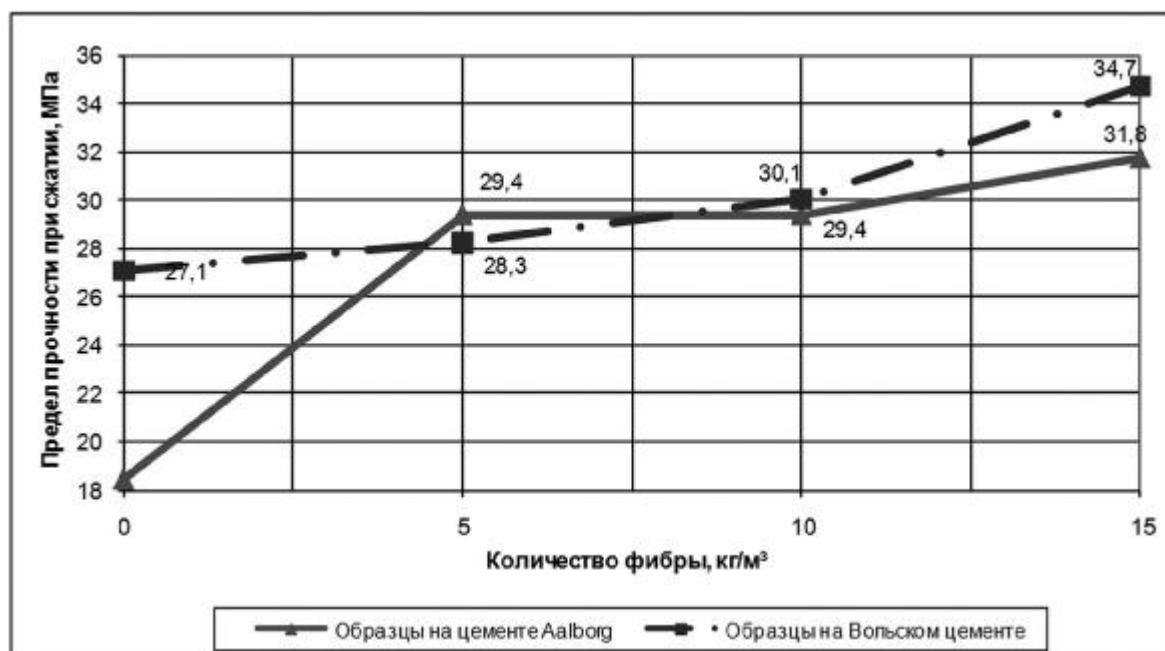


Рис. 4. Зависимости изменения предела прочности при сжатии стеклофибробетона на различных видах цемента от количества фибры длиной 1 см

Таким образом, результаты исследований позволяют сформулировать следующий вывод:

- армирование мелкозернистого бетона рубленной из ровинга стеклянной фиброй позволяет значительно увеличивать прочность на растяжение при изгибе и на сжатие;
- прочность на растяжение при изгибе можно увеличить по сравнению с матрицей на 74-87,2 % при введении волокон длиной 0,5-3 см до 25 кг/м³, а прочность при сжатии на 18,4-37,7 %;
- экспериментами установлено, что оптимальная длина стеклянной резаной фибры составляет 1 см, а экономически целесообразная дозировка волокон в бетонную смесь составляет – 5-7,5 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков И.В. Проблемы применения фибробетона в отечественном строительстве // Строительные материалы, 2004, № 6. – С. 12-13.
2. Юрьев А.Г., Лесовик Р.В., Панченко Л.А. Дисперсно армированный мелкозернистый бетон с использованием техногенного песка // Известия вузов. Строительство, 2008, № 11, 12. – С. 121-127.
3. Рахимов Р.З. Фибробетон – строительный материал XXI века // «Экспозиция» 2 б (54). Бетон и сухие смеси, 2008.
4. Войлоков И.А. Фибробетон – история вопроса, нормативная база, проблемы и решения // ALITInform международное аналитическое обозрение, 2009, № 2.
5. ВСН 56-97 «Проектирование и основные положения технологий производства фибробетонных конструкций».
6. Анацкий Ф.И. Стеклофибробетон – современный материал с широким диапазоном свойств и областей эффективного применения в строительстве // URL: <http://www.master-grad.ru>.
7. Харчевников В.И. Основы структурообразования стекловолокнистых полимербетонов // Известия вузов. Строительство и архитектура, 1987, № 11. – С. 62-66.
8. Lorenzis L. de, Miller B., Nanni A. Bond of FRP laminates to concrete // ACI Material Journal, 2001, V98, – P. 256-264.