

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕКЛОФИБРОБЕТОНА ДЛЯ ПОДВЕСНЫХ МАССИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Шангина Н.Н.<sup>1</sup>, *д.т.н., проф.*, Харитонов А.М.<sup>2</sup>, *д.т.н., доц.*,  
Рябова А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Петербургский государственный университет путей сообщения,  
Россия*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-  
строительный университет, Россия*

Появление бетонов нового поколения – высококачественных и высокопрочных – стало возможным благодаря возможности достижения низких значений водо-цементного отношения на основе применения современных эффективных пластифицирующих добавок (гиперпластификаторов). Высокие эксплуатационные характеристики подобных бетонов (предел прочности при сжатии 60-130 МПа), тем не менее, могут быть значительно улучшены в части повышения предела прочности на изгиб (в 4-5 раз), что открывает совершенно новые области применения цементных систем. В этой связи особого внимания заслуживает технология фибробетонов и стеклофибробетона, в частности [1].

Сочетание низкого водо-цементного отношения, высокомодульного щелочестойкого стеклянного волокна, ориентированного в матрице в одной плоскости за счет применения усовершенствованной технологии пневмонабрызга, а также комплекса химических и минеральных добавок, влияющих на удобоукладываемость смеси и повышающих долговечность бетона, является путем получения стеклофибробетона (СФБ) нового уровня свойств. Соотношение прочностей на растяжение при изгибе и сжатии такого бетона достигает 0,8 (у неармированного материала эта величина не превышает 0,2). При этом бетон относится к категории высокопрочных; он обладает высокой ударной вязкостью, а также морозостойкостью и водонепроницаемостью. Подобное сочетание характеристик мы привыкли обобществлять с материалами совершенно другой природы, например, металлом или полимерными композициями. Однако стеклофибробетон выгодно отличается в плане долговечности и соотношения цена-качество. Кроме этого, хорошая совместимость стеклофибробетона с минеральными строительными мате-

риалами делает его весьма привлекательным, а в ряде случаев и незаменимым для реставрационных работ.

Использование метода пневмонабрызга придает СФБ исключительно высокие технологические свойства при формировании изделий практически любой формы, сложности рельефа и фактуры поверхности.

Принципиальная схема получения стеклофибробетона методом ручного пневмонабрызга представлена на рис. 1.

К преимуществам стеклофибробетона также относится малый вес: высокая прочность на изгиб позволяет изготавливать тонкостенные конструкции (толщиной 12-25 мм) без армирования сталью. Кроме этого, немаловажным является возможность монтажа при любых погодных условиях (учитывая участвовавшие «аномальные» погодные явления); гарантированный уровень прочностных характеристик элементов обеспечивается при твердении в стационарных условиях.

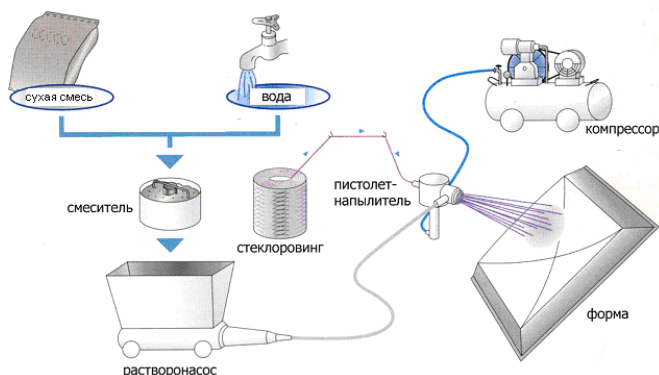


Рис. 1 – Принципиальная технологическая схема получения стеклофибробетона

Наиболее важными вопросами в технологии стеклофибробетона являются величина оптимальной длины фибры, ее долговечность в структуре цементного камня, а также усадочные деформации [2].

Увеличение степени армирования сопровождается ростом прочности, как при изгибе, так и сжатии. Но введение фибры путем перемешивания компонентов вручную не позволяет достигнуть объема дисперсного армирования свыше 1,3%. При использовании, например, метода пневмонабрызга расход фибры может достигать 5% от массы смеси.

На основании результатов проведенных исследований можно сделать вывод о том, что оптимальной является фибра длиной 10 мм. Немаловажным является и то, что при длине фибры 10 мм сохраняется необходимая удобоукладываемость смеси, позволяющая формировать поверхность изделия со сложным рельефом.

Другой важной проблемой, требующей учета при производстве изделий из СФБ, является усадка [3]. Влажностная усадка зависит от нескольких факторов: водоцементного отношения, соотношения песка и цемента, условий твердения и возраста бетона.

Трещинообразование, вызванное усадкой, можно уменьшить путем увеличения содержания фибры и случайной ее ориентацией. Усадочные трещины развиваются в направлении преимущественной ориентации волокон из-за недостаточности количества фибр, расположенных перпендикулярно направлению развития трещин. Хотя введение стекловолокна в цементную матрицу существенно не уменьшает влажностную усадку, но дисперсное армирование снижает риск распространения усадочных трещин.

Традиционные составы для матрицы СФБ предполагают соотношение цемента и песка равное 1:1. Увеличение доли песка приводит к ухудшению реологических свойств раствора и, соответственно, «формуемости», снижению прочностных характеристик стеклофибробетона. Однако снижение доли цемента в бетоне является приоритетным направлением повышения экономической и технической эффективности СФБ.

Долговечность фибры в составе цементных бетонов определяется их щелочестойкостью, поэтому для дисперсного армирования используют стекловолокно на основе оксида циркония.

Дополнительной мерой повышения стойкости стекловолокна является использование активных минеральных добавок, связывающих известь и понижающих щелочность среды. Кроме этого, указанные добавки повышают коррозионную стойкость матричной составляющей стеклофибробетона.

Системный подход, учитывающий вышеобозначенные аспекты при проектировании состава и наладке технологического процесса производства стеклофибробетона, позволил нам получить материал, отвечающий высоким эксплуатационным требованиям (табл. 1).

Для получения СФБ нами используется белый портландцемент ПЦ500Д0, полифракционированный кварцево-полевошпатный песок, комплекс химических и минеральных добавок. В качестве фибры применяется щелочное стеклянное волокно, содержащее 10-15 % щелочных оксидов. Нить стекловолокна диаметром 10-20 мкм собрана в пу-

чек и намотана на бобину. Степень армирования составляет 3% от массы смеси.

Табл. 1 Основные технические характеристики стеклофибробетона

| Характеристика                            | Значения                    |
|---|-----------------------------|
| Средняя плотность                         | 1900-2200 кг/м <sup>3</sup> |
| Прочность при сжатии                      | не менее 55 МПа             |
| Предел прочности на растяжение при изгибе | не менее 40 МПа             |
| Модуль упругости                          | 2,0-2,5 ГПа                 |
| Предел прочности на осевое растяжение:    | 7,8 МПа                     |
| Удлинение при разрушении                  | 0,8%                        |
| Теплопроводность                          | 0,65 Вт/см <sup>2</sup> .°С |
| Водонепроницаемость                       | W12                         |
| Морозостойкость                           | не менее F300               |

Для производства стеклофибробетона применяется специальное технологическое оборудование – установка СЦ-45, которая состоит из растворонасоса, пневмопульта для управления установкой и пистолета-распылителя. С помощью этого оборудования производится рубка стекловолокна на отрезки необходимой длины, разделение пучка волокон на моноволокна, их смешивание с растворной смесью и набрызг стеклофибробетона с помощью пистолета-распылителя на полиуретановую форму.

Практическое применение данной технологии получила при реставрации подвесного потолка перронного зала станции Петербургского метрополитена (ст. Автово).

Исторический подвесной потолок украшен лепными декоративными элементами. Основу композиции составляют декоративные кессоны, структурировано расположенные по поверхности потолка станции. Между декоративными кессонами под продольными и поперечными балками покрытия размещены плоские вставки, украшенные гирляндами из листьев и венками в угловых зонах. Орнаментальный мотив декоративных кессонов представлен многократно повторяющимися стилизованными природными формами (листовая прорезка, розетки), разделенными декоративными поясками. В угловых зонах декоративных кессонов расположены треугольные штукатурные тяги.

В процессе многолетней эксплуатации под действие динамических нагрузок и протечек, а также ввиду недостаточной надежности крепления значительная часть декоративных элементов потолка разрушилась,

что потребовало проведения реставрационных работ с обеспечением эксплуатационной надежности объекта на длительный период времени. Обязательным условием работы явилось сохранение существующего архитектурного облика станции.

Исходя из этого, специалистами кафедры "Тоннели" ПГУПС был разработан проект, предусматривающий выполнение подвесного потолка (декоративные кессоны и панели) из бетона. Изделия предлагалось выполнить на металлическом каркасе и использовать с этой целью быстротвердеющие составы. Таким образом, было предложено не выполнять конструкцию из монолитного бетона, а сделать ее сборной, чтобы провести реконструкцию без остановки станции.

Наше предложение применить с этой целью стеклофибробетон позволило дополнительно облегчить конструкцию и упростить тем самым производство работ.

Тонкостенный потолочный элемент – кессонная или плоская панель изготавливается в полиуретановой форме методом набрызга стеклофибробетоновой смеси с замоноличиванием металлического каркаса из нержавеющей стали, обеспечивающего пространственную жесткость панелей при монтаже и эксплуатации (рис. 2). Размеры кессона в плане 4800×4800 мм, глубина 350 мм.



Рис. 2 – Конструкция подвесного потолка из стеклофибробетона

Технологический процесс изготовления панели включает три последовательных этапа процедуры непрерывного набрызга.

На первом этапе набрызга с целью создания гладкой лицевой поверхности панели в качестве первого слоя используется состав без стеклофибры. Эта смесь наносится с помощью пистолета-распылителя толщиной 2-3 мм.

На втором этапе набрызга также с помощью пистолета-распылителя наносится основной конструкционный слой из стеклофибробетона толщиной 5-10 мм. Толщина укладываемого слоя при производстве

работ контролируется шупом. Набрызг стеклофибробетона производится непрерывно по всей плоскости панели.

На третьем этапе производится соединение свежееизготовленной панели из стеклофибробетона с пространственным каркасом в единое изделие путем набрызга.

По истечению не менее 48 часов нормально-влажностного твердения потолочные конструкции могут монтироваться при помощи талрепов к потолочным балкам. К этому возрасту достигается не менее 70% марочной прочности бетона.

### ***Выводы***

Как показал опыт эксплуатации подвесного потолка в течение одного года, на конструкциях из стеклофибробетона не наблюдается силовых и усадочных трещин. В ходе геодезического мониторинга не выявлено значительных перемещений поверхности потолка, связанных с провисанием конструкций.

Таким образом, использование стеклофибробетона при производстве подвесных большегабаритных конструкций является новым направлением его использования. При этом задействованы все положительные особенности этого материала: малый вес, высокая прочность на изгиб, а также высокая динамическая прочность.

### **Summary**

**The fabrication of hanging ceiling designs for underground's platform hall by hand spray-up method is a new direction of the use glass fiber reinforced concrete. There is the demand of decisions some technological and constructive problems for ensuring required working and decorative features at the restoration of ceiling to Avtovo station in Saint-Petersburg.**

### ***Литература***

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технологии, конструкции. - Москва: АСВ, 2004. – 560 с.
2. Габидуллин М.Г., Багманов Р.Т., Шангараев А.Я. Исследование влияния характеристик стеклофибры на физико-механические свойства стеклофибробетона / XV Академические чтения РААСН. Казань: – 2010, КГАСУ. – С. 268-273.
3. Ho C.Y., Lee Y.C. Effects of humidity on the deformation of GFRC composite material // The Arabian Journal for Science and Engineering. – 2009. – Vol. 34. - № 1C. – P. 73-79.