

**ВЛИЯНИЕ СТЕКЛЯННЫХ
И ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ВОЛОКОН
НА ПРЕДЕЛЫ ПРОЧНОСТИ
И УДАРОСТОЙКОСТЬ ФИБРОБЕТОНА**

Довгань П.М., Довгань А.Д. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

Приведені результати експериментальних досліджень дрібнозернистого бетону армованого скляними і поліпропіленовими волокнами. Поточні випробування дають обнадійливі результати використання гібридно-дисперсного армування при виробництві тонкостінних архітектурних деталей та елементів незнімної опалубки

Введение. Новые более высокие требования к проектированию и строительству современного жилья, объектов инфраструктуры, благоустройству территорий городов предопределяют повышение архитектурной выразительности и привлекательности строящихся и реконструируемых зданий и сооружений. Решение этих задач в значительной степени связано с широким использованием прогрессивных материалов, технологий и изделий на их основе.

Широчайшим спектром конструкционных и декоративных возможностей обладают материалы, получаемые путем армирования цементных композитов разного рода волокнами. К числу таких материалов относится и стеклофибробетоны (СФБ), которые удачным образом сочетают в себе архитектурно-декоративную выразительность и характеризуются улучшенными механическими характеристиками [1]. Совместная работа бетона и равномерно распределенных волокон по объему изделия или отдельных его частей предопределяет получение материала со значительно увеличенными свойствами ударной и изгибающей прочности, а также прочности при растяжении, срезе и расколе. Таким образом, создаются условия для снижения материалоемкости и трудоемкости строительства, увеличения его номенклатуры.

В основу исследования поставлена задача улучшения характеристик мелкозернистого бетона за счет гибридно-дисперсного армирования с использованием двух различных типов волокон для достижения преимущества каждого из них. Более сильные, но сравнительно хрупкие волокна объединены с более слабыми, более пластичными волокнами для повышения прочности и пластичности. Части дорогостоящих «высокоэффективных» волокон заменены менее дорогими [2]. Для подтверждения эффективности использования гибридного армирования и обеспечения направленного регулирования структуры, и физико-механических свойств фибробетона, проведены дополнительные исследования цементного композита армированного стеклянными и полипропиленовыми волокнами [3].

Целью данной работы является подбор рациональной технологии производства с учетом назначения и конструктивных особенностей планируемых к изготовлению фибробетонных изделий, максимально используя местные материалы и ресурсы.

Условия натурального эксперимента. Эксперимент по определению прочностных и эксплуатационных характеристик цементного композита с гибридно-дисперсным армированием проводился по 18-ти точечному четырехфакторному D-оптимальному плану. Исследования состояли из двух этапов. На первом этапе определялись технологические параметры композиции, водоцементное отношение подбиралось из условия одинаковой удобоукладываемости композиций (осадка конуса составила 14-16 см), при этом водоцементное отношение (В/Ц) изменялось от 0.25 до 0.36, а на втором – физико-механические свойства затвердевшего композита. Качественные показатели

определялись на образцах балочках $4 \times 4 \times 16$ см и их половинках в разные сроки воздушно-влажностного твердения. Переход к нормализованным переменным $-1 \leq x_i \leq +1$ выполнен по типовой формуле $x_i = (X_i - \bar{X}_i) / \Delta X_i$.

В натурном эксперименте зафиксированы цементно-песчаное отношение (1:1) по массе, а также дозировка суперпластификатора Дунамон SP3 (1.0 % от массы цемента). В эксперименте использовался портландцемент ПЦ II/A-III-500 ОАО «ЮГцемент». Варьировались следующие факторы состава фибробетона:

- ферросилиций, заменяющий часть цемента $FC = X_1 = 5 \pm 5$ м.ч. на 100 м.ч. цемента. Компонент обладает высокой пуццолановой активностью, так как состоит в основном из аморфного кремнезема с развитой удельной поверхностью $20-30 \text{ м}^2/\text{г}$ способный химически взаимодействовать с гидратными новообразованиями клинкерных минералов, связывая растворимый $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в нерастворимые соединения, повышая тем самым прочность и стойкость цементного камня;

- доля мелкого песка в смеси с крупным $\Pi = X_2 = 50 \pm 25$ м.ч. на 100 м.ч. объема всего песка. Использовались кварцевые пески Херсонский речной модулем крупности $M_{кр.} = 1.8$ и Вознесенского месторождения Николаевской области – $M_{кр.} = 2.4$;

- волокно армирующее полипропиленовое ВАП = $X_3 = 0.05 \pm 0.05$ м.ч. на 100 м.ч. растворной смеси (BAUCON, длина 12 мм);

- щелочестойкое стекловолокно AR = $X_4 = 1 \pm 1$ м.ч. на 100 м.ч. растворной смеси (NEG AR2500H-350Y, содержание диоксида циркония $\text{ZrO}_2 \geq 19\%$, полученное в результате нарубки стеклоровинга длиной 30 мм).

Технология приготовления фибробетонной смеси включает в себя последовательное перемешивание воды, пластифицирующей добавки, цемента, кварцевого песка, минеральных и полимерных волокон с использованием турбулентного скоростного смесителя с частотой вращения ротора 480 об/мин., а также нанесения ее по технологии пневмонабрызга премикса (предварительно приготовленного и пневмонанесенного раствора). При этом плотность предварительно приготовленной смеси до пневмонанесения составляла $2000 \div 2200 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Анализ результатов исследований. Проведенный анализ экспериментальных данных показал, что изменение факторов состава на прочность бетона при сжатии (R_c) повлияло не значительно. В пределах факторного пространства R_c изменялась в диапазоне $100 \div 132$ МПа, хотя, например, предел прочности при изгибе (R_b , МПа) и ударостойкость (T , Дж) изменялись соответственно в 2 и 6.7 раза. Однако прочность при сжатии и не является приоритетным показателем качества для растягиваемых или подвергаемых удару изделий. Следует отметить, что плотность фибробетона при этом составляла $2150 \div 2380 \text{ кг}/\text{м}^3$.

По результатам натурного эксперимента построен комплекс нелинейных четырехфакторных экспериментально-статистических моделей (ЭС-моделей) и диаграмм. Анализ ЭС-модели, описывающей влияние факторов состава на Ц/В отношение растворной смеси показал, что бетоны без замещения цемента ферросилицием и с повышенным содержанием крупного песка ($x_1 = x_2 = -1$), а также отсутствием волокон ($x_3 = x_4 = -1$) характеризуются максимальным значением $\text{Ц}/\text{В}_{\max} = 4.4$, и соответственно имеют наиболее плотную структуру. Бетоны же состава $x_1 = -1$, $x_2 = x_3 = x_4 = +1$ имеют минимальное значение $\text{Ц}/\text{В}_{\min} = 2.72$.

Для оценки степени влияния рецептурных факторов на предел прочности при изгибе и ударостойкость получены ЭС-модели (1 и 2), адекватные эксперименту при ошибках $s_3\{R_b\} = 0.27$ МПа и $s_3\{\ln T\} = 0.037$, с 14 статически значимыми коэффициентами, описывающие полные поля анализируемых критериев с экстремальными значениями: максимум $R_{b.\max} = 24.7$ МПа достигается при $x_1 = x_2 = x_4 = +1$ и $x_3 = -1$, минимум $R_{b.\min} = 12.1$ МПа – при $x_1 = +0.5$, $x_2 = x_3 = x_4 = -1$; максимум $T_{\max} = 298$ Дж у состава с $x_1 = +0.4$, $x_2 = x_4 = +1$ и $x_3 = -1$, минимум $T_{\min} = 42$ Дж достигается при $x_1 = +1$, $x_2 = -0.4$, $x_3 = -0.8$ и $x_4 = -1$.

$$R_b = 16.72 \pm 0x_1 + 1.07x_1^2 + 0.23x_1x_2 - 0.28x_1x_3 + 1.11x_1x_4 + 0.79x_2 - 1.44x_2^2 - 1.07x_2x_3 + 1.15x_2x_4 + 1.44x_3 + 1.37x_3^2 - 0.75x_3x_4 + 2.21x_4 + 0.88x_4^2 \quad (1)$$

$$\ln\{T\} = 4.52 - 0.06x_1 - 0.29x_1^2 - 0.14x_1x_2 - 0.15x_1x_3 + 0.29x_1x_4 + 0.15x_2 + 0.14x_2^2 - 0.12x_2x_3 \pm 0x_2x_4 + 0.19x_3 + 0.16x_3^2 - 0.17x_3x_4 + 0.32x_4 + 0.26x_4^2 \quad (2)$$

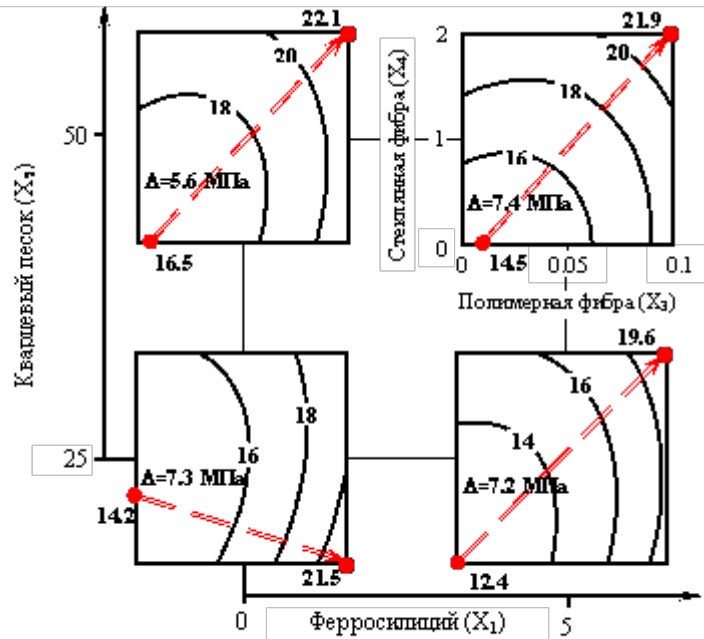


Рис. 1. Влияние факторов состава фибробетона на предел прочности на растяжение при изгибе (R_b , МПа)

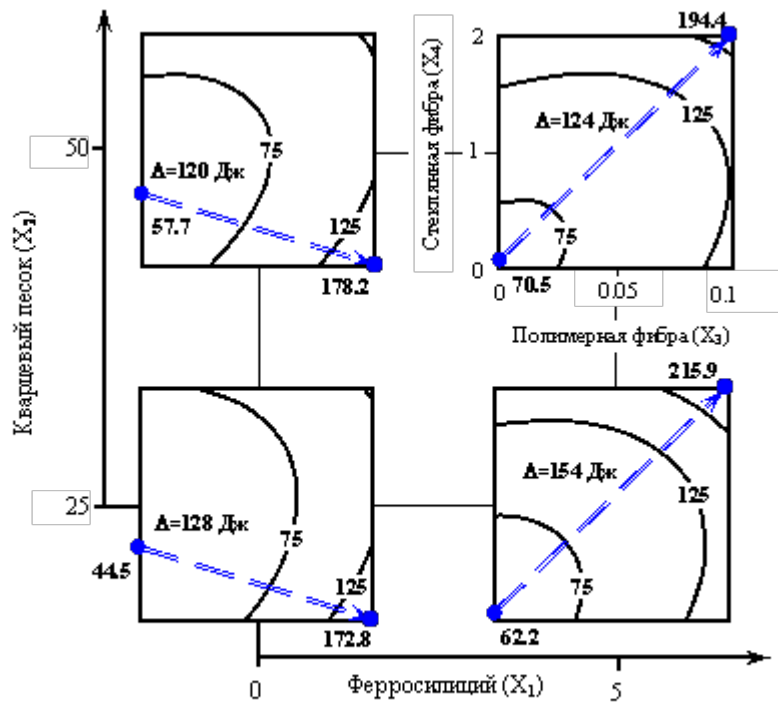


Рис. 2. Влияние факторов состава фибробетона на ударостойкость (Т, Дж)

Влияние факторов состава на анализируемые критерии представлено на диаграммах в виде «Квадрат на квадрате» (Рис. 1 и 2). В качестве несущего выбран квадрат из

компонентов цементно-песчаной матрицы ферросилиция и кварцевого песка в координатах от -1 до 0 [4].

Анализ двух пар диаграмм показывает, что положительное влияние на R_b и T оказывает совместное введение полипропиленового (X_3) и стеклянного (X_4) волокон как при замещении части цемента микрокремнеземом до 5 %, так и при увеличении доли мелкого кварцевого песка в смеси с крупным до среднего уровня (50 м.ч. мелкого и 50 м.ч. крупного песков) о чем свидетельствуют точки максимума и ихние абсолютные приросты: $\Delta\{R_b\} = 7.4$ МПа и $\Delta\{T\}=154$ Дж [4]. Данный эффект воздействия двух компонентов вероятно связан с увеличением плотности структуры цементной матрицы за счет снижения общей пористости, упрочнения контактной зоны между цементным камнем и заполнителями в бетоне, в т.ч. и с волокнами, что в свою очередь предотвращает возможность «выдергивания» последних.

Вывод

В целом можно сделать вывод, что введение армирующих волокон (до 2.1 % на 100 м.ч растворной смеси) в цементный композит позволяет изготавливать на его основе облегченные тонкостенные конструкции, архитектурные детали, элементы несъемной опалубки и т.д. характеризующиеся повышенными физико-механическими свойствами.

Summary

The results of experimental study of fine grained concrete reinforced with glass and polypropylene fibres are presented. The data obtained encourage the use of hybrid fibre reinforcement when producing thin architectural items and leave-in-place forms

Литература:

1. ВСН 56-97. Проектирование и основные положения технологий производства фибробетонных конструкций. – Москва, 1997. – 173с.
2. Design of hybrid-fiber reinforcement for shrinkage cracking by crack width prediction / Michele F. CYR, Chengsheng OUYANG, Surendra P. SHAN // Proc. Int. Symp. Brittle Matrix Composites 7. – Warsaw, 2003. – P. 243-252.
3. Патент України № 45587 «Фібробетонна суміш» / Вознесенський В.А, Довгань П.М., Довгань О.Д. / 10.11.2009. – 4 с.
4. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов, И.И. Николов. – К.: Будивэльнык, 1989. – 240 с.