

## **ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА В СООТВЕТСТВИИ С УСЛОВИЯМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ**

**Талантова К.В., к.т.н., доц.**

*Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия*

Известно, что, помимо соблюдения общих принципов проектирования, для обеспечения эксплуатационных характеристик железобетонных конструкций (ЖБК), подбирается тип вяжущего, вид и крупность заполнителя, классы и диаметры арматуры, и другие конструктивно-технологические требования. Возможности формирования свойств бетона в ЖБК хорошо изучены и формализованы. Достаточно данных для подбора арматуры с необходимыми характеристиками.

Однако, железобетон (ЖБ), как материал, не существует, хотя такой термин и употребляется в специальной литературе. Очевидно, что объединить работу бетона и арматуры, получить ЖБ, можно только в конструкции, или её элементе. При этом в ЖБК возможности формирования свойств достаточно ограничены и дискретны, прежде всего, в связи с тем, что выбор арматуры ограничен сортаментом, класса бетона - требованиями СНиП, а также спецификой их конструирования.

Возможности формирования свойств композиционного материала – сталефибробетона (СФБ) в зависимости от эксплуатационных требований, предъявляемых к конструкции на его основе, имеют значительно меньше ограничений [1]. Это утверждение базируется на современных знаниях о возможностях дисперсного армирования стальной фиброй и программных средств.

Поскольку СФБ – композит, то в этом вопросе целесообразно опираться на принципы формирования свойств материала в конструкциях из классических композиционных материалов (КМ) на основе хрупкой матрицы и дискретных волокон [2].

Результаты экспериментально-теоретических исследований СФБ и сталефибробетонных конструкций (СФБК) позволили сформулировать принципы формирования свойств СФБ в соответствии с эксплуатационными требованиями к СФБК, которые обеспечивают заданные свойства последних при минимально возможных затратах [3].

Исходя из принципов формирования свойств КМ на основе дискретных волокон [2] следует, что на уровень упруго-прочностных свойств СФБ влияют: природа волокна и матрицы, объемное содержание компонентов, геометрические параметры волокон, распределение их по объему, уровень взаимодействия на границе «волокно – матрица». На этой основе, при формировании свойств СФБ в соответствии с эксплуатационными требованиями к конкретной конструкции, необходимо выбрать тип фибры, вариант фибрового армирования, матрицу, соответствующую выбранному варианту фибрового армирования, уровень взаимодействия фибра - бетонная матрица (необходимую величину их сцепления  $\tau_c$ ) [4].

Анализируя влияние каждого фактора в отдельности, можно выделить доминирующую роль геометрических параметров волокон [5]. Отношение длины к диаметру фибры ( $l_f/d_f$ ) для обеспечения необходимой прочности на растяжение СФБ целесообразно принимать не менее 100. Соотношение  $l_f/d_f$  для обеспечения требуемой прочности СФБ на сжатие, как показали исследования автора [3], – не более 50. Диаметр фибры должен быть соизмерим с крупностью заполнителя. Поскольку для получения ощутимого технического эффекта от использования фибрового армирования стальной фиброй целесообразно применение фибры диаметром ( $d_f$ ) 0,3 ... 0,8 мм [6], то, соответственно, в качестве матрицы следует использовать мелкозернистый бетон.

Длина стальной фибры, необходимая для обеспечения заданных свойств СФБК, помимо прочего, определяется свойствами межфазного слоя, которые обуславливают сцепление фибры с бетонной матрицей. Регулирование свойств межфазного слоя, обеспечивающего заданный уровень сцепления по контакту фибра - матрица, позволяет изменять в нужном диапазоне длину фибры ( $l_f$ ). Изменяя длину стальной фибры при заданной геометрии сечения конструкции, можно обеспечить требуемое распределение фибры в бетонной матрице, что, помимо других факторов, позволяет управлять свойствами материала и обеспечивать заданные характеристики СФБК и сталефибро -железобетонных конструкций (СФЖБК).

Как показано в работе [7], равномерное дисперсное распределение стальных волокон в хрупкой бетонной матрице обеспечивает формирование мелкопористой структуры с замкнутыми порами и капиллярами, радиус которых оценивается в пределах  $r \leq 0,1 \mu\text{м}$  (уровень переходных и микропор). Это и обеспечивает повышенную деформативность и трещиностойкость СФБ, а также сопротивляемость воздействию влаги, мороза, высоких температур и т.п.

Численный анализ прочностных характеристик СФБ в принятой области армирования, выполненный в рамках представляемых исследований [3], выявил, что прирост прочности СФБ на растяжение при минимальном относительном коэффициенте расхода фибры ( $k_{fb}$ ) наблюдается с уменьшением класса бетона-матрицы и размеров сечения, а также увеличением относительной длины фибры ( $l_f/d_f$ ) и процента армирования ( $\mu_{fv}$ ). Минимальный относительный коэффициент расхода фибры на сжатие ( $k_{fb}$ ) почти в 5 раз выше этого показателя СФБ на растяжение. Таким образом, применение СФБ целесообразно в элементах или сечениях элементов, подверженных осевому растяжению или растяжению при изгибе, для сжатых элементов использование фибрового армирования рационально лишь при совокупном действии сжатия с изгибом. При этом в растянутых элементах или зонах изгибаемых и внецентренно нагруженных элементов целесообразно фибровое армирование осуществлять фиброй максимальной для принятой технологии длины, в сжатой зоне – следует армировать фиброй малой длины. В конструкциях, подверженных ударным нагрузкам, предпочтительно армирование фиброй с  $l_f/d_f \leq 50$ .

Абсолютные значения прочности СФБ как на растяжение, так и на сжатие растут с увеличением класса бетона-матрицы и уменьшением размеров сечения при заданных параметрах фибрового армирования.

Регулирование свойств КМ совмещением различных волокон, получение так называемых, гетероолокнистых КМ [2], весьма перспективно и при разработке СФБК (СФЖБК) и формировании свойств материала, заключенного в конструкцию. Результаты исследований, полученных в работе [8], показали целесообразность такого армирования СФБК (СФЖБК) при технико-экономическом обосновании его применения.

Принятые сегодня правила определения прочностных характеристик СФБ, при проектировании и изготовлении СФБК (СФЖБК) рекомендуют воспользоваться результатами испытаний стандартных лабораторных образцов или с помощью вычислений для имеющегося типа фибры и бетона – матрицы по формулам, приведенным в [9]. Такой подход не позволяет в полной мере реализовывать потенциал, заложенный в фибровом армировании бетона стальной фиброй.

### *Заключение*

На основе результатов экспериментально-теоретических исследований автором разработана концепция формирования свойств СФБ, позволяющая обеспечивать заданные эксплуатационные характеристики

ки СФБК (СФЖБК). Суть состоит в том, что по картинам полей напряжений, полученным в результате статического расчета конструкции, средствами вычислительных комплексов (SCAD, Лира, COSMOS и др.), реализующих метод конечных элементов, оцениваются максимальные (главные) напряжения растяжения ( $\sigma_{tmax}$ ) и сжатия ( $\sigma_{сmax}$ ) и их направления и, в соответствии с картиной полей напряжений, разрабатывается схема армирования (фибрового и, при необходимости, регулярного). В соответствии с величинами напряжений принимаются сопротивления СФБ растяжению ( $R_{fbt}$ ) и сжатию ( $R_{fbn}$ ), для обеспечения которых в результате решения оптимизационной задачи определяются параметры фибрового армирования: объемный процент армирования ( $\mu_{fv}$ ), соотношение длины фибры и её диаметра ( $l_f/d_f$ ), сопротивление фибры растяжению ( $R_{sf}$ ). Функцией цели при этом принимается минимальный расход стальной фибры ( $\mu_{fvmin} \geq 0,5\%$ ), как наиболее дорогостоящий компонент СФБ. В случае необходимости определяются и параметры регулярного армирования. При этом именно напряженно-деформированное состояние (НДС), условия эксплуатации и технико-экономическая целесообразность должны определять выбор фибры, её характеристик и количества.

Все подобранные параметры СФБ для проектируемой конструкции на его основе должны быть получены при производстве СФБК (СФЖБ). При этом необходимо выбирать такую технологию производства, которая обеспечит при их изготовлении, подобранные параметры СФБ, заданную схему фибрового армирования, а также минимальную стоимость конструкции из возможных вариантов.

В качестве примеров обеспечения эксплуатационных требований конструкций на основе СФБ при минимальном расходе материалов и средств за счет формирования его свойств можно представить разработку, выполненные под руководством и при участии автора:

- контейнер для хранения и захоронения токсичных промышленных отходов первого и второго классов опасности [10];
- оболочка покрытия Храма Покрова Божьей Матери, возведенная в сентябре-октябре 2010 года в районном центре Волчиха Алтайского края [11] и многое другое.

### Summary

**The concept of creating structures based on composite - steel fiber concrete (SFC) with specified characteristics. The formation properties of SFC in accordance with the requirements of the construction. The choice of fiber and its parameters, as well as the concrete matrix based**

## **on the results of static analysis in the design of structures based on the SFC.**

### *Литература*

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: *монография*. М.: Издательство АСВ, 2004. . – 560 с.
2. Фудзии, Т. Механика разрушения композиционных материалов: пер. с яп. / Т. Фудзии, М. Дзако. – М.: Мир, 1982. – 232 с.
3. Талантова К.В. Строительные конструкции на основе сталефибробетона с заданными свойствами / К.В. Талантова // Проблемы оптимального проектирования сооружений: доклады I Всероссийской конференции 8-10 апреля, 2008 г. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2008. – С. 381–390.
4. Талантова К.В. Регулирование свойств композита – сталефибробетона с целью обеспечения эксплуатационных характеристик конструкций на его основе. // Проблемы оптимального проектирования сооружений: доклады 2-ой Всероссийской конференции, Новосибирск, 5-6 апреля, 2011 г. - Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2011. – С. 347 -354.
5. Талантова К.В. Обеспечение свойств элементов конструкций на основе сталефибробетона с учетом влияния характеристик стальных фибр / К.В. Талантова, Э.И. Вингисаар // Известия вузов. Строительство. Новосибирск, 2008 - № 11-12. – С. 121-127.
6. Fibre Concrete Materials: A Report Prepared by RILEM Technical // Committee 19 – FRC: Materials and Structures. Research and Testing (RILEM, Paris), Mar.-Apr. – Paris, 1977. – Vol. 10, № 56. – P. 103 - 120.
7. Гулимова, Е. В. Исследования коррозионной стойкости арматуры в сталефибробетоне: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. В. Гулимова. – Л., 1980. – 23 с.
8. Голанцев, В. А. Свойства и особенности полиармированных фибробетонов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. А. Голанцев. – Л., 1990. – 20 с.
9. Рекомендации по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций / НИИЖБ Госстроя СССР. – М., 1987. – 148 с.
10. Талантова К.В. Разработка конструкции сталефибробетонного контейнера для размещения и захоронения токсичных промышленных отходов / К.В. Талантова, Н.М. Михеев //Бетон и железобетон. 2009 - № 3 – С 13 – 16.
11. Талантова К.В. Практика создания конструкций на основе сталефибробетона с заданными эксплуатационными характеристиками / К.В. Талантова, Н.М. Михеев, А.Н. Трошкин // Известия вузов. Строительство. Новосибирск, 2011 - № 1