Строительные материалы и изделия

УДК 666.974:666.97.03

© И. А. Войлоков, канд. техн. наук

© П. В. Лушанкин, канд. экон. наук,
генеральный директор
(ООО «Би Райт»)

© Г. П. Васильев, генеральный директор
(ООО «БРК»)

© К. А. Дорофеев, региональный менеджер
по продажам и маркетингу
(ООО «Бекарт Уайер»)

E-mail: voilokov@mail.ru, pl@b-rite.ru,
gregory.vasilyev@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-3-99-105

© I. A. Voilokov, PhD in Sci. Tech.

© P. V. Lushankin, PhD in Sci. Ec., General Director
("B. Rite" LLC)

© G. P. Vasilyev, general director
("BRC" LLC)

© K. A. Dorofeev, regional sales
and marketing manager
("Bekaert Wyer" LLC)

E-mail: voilokov@mail.ru, pl@b-rite.ru,
gregory.vasilyev@mail.ru

ТИПОРАЗМЕР ФИБРЫ КАК КЛЮЧЕВОЙ ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОННОГО ДИСПЕРСНО АРМИРОВАННОГО КОМПОЗИТА

FIBER TYPE AND SIZE AS THE KEY FACTOR OF IMPROVING THE DISPERSE REINFORCED CONCRETE COMPOSITE PERFORMANCE

Сталефибробетонные композиты уверенно занимают свою нишу на строительном рынке России, переставая восприниматься как нечто диковинное и экспериментальное. В то же время многим заказчикам и подрядчикам недостает понимания того, как именно и за счет чего достигается повышение характеристик бетонной конструкции при введении в ее состав фибры. И хотя лабораторные испытания наглядно демонстрируют, что геометрические размеры, форма и материал, из которого произведена фибра, оказывают существенное влияние на ее свойства, отсутствие единой нормативно-правовой базы оставляет большое поле для поставок продукции, не соответствующей требованиям обеспечения надежности строительных элементов. Используя опыт других стран, уже прошедших этот путь, можно значительно поднять уровень отечественного рынка, а также дать возможность российским производителям освоить зарубежные рынки.

Ключевые слова: фибра, сталефибробетон, композит, стальная фибра, сравнение фибры, типы фибры.

Steel fiber reinforced concrete composites confidently occupy their niche in the construction market of Russia, no longer being regarded as somewhat exotic and experimental. Yet many clients and contractors still fail to comprehend how exactly and by what means the addition of fibers into mix will improve the concrete structure performance. Although laboratory tests show that geometry, dimensions, shape and material of which the fiber is made significantly affect its properties, the lack of a unified regulatory framework leaves a large field for the supply of products that do not meet the requirement of ensuring the reliability of building elements. Using the experience of other countries that have already passed this way, the level of the Russian domestic market could be significantly upgraded, which would allow domestic manufacturers to gain foreign markets as well.

Keywords: fiber, steel fiber reinforced concrete, composite, steel fiber, fiber comparison, fiber types.

Исследования дисперсной арматуры в нашей стране идут долгое время [1–3]. Интерес к данному виду армирования то затухает, то вспыхи-

вает с новой силой. Несмотря на определенный скепсис, применение дисперсной арматуры в различного рода конструкциях уже утверждено

нормативно в СП 360.1325800.2017 «Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования», СП 52-104-2006 «Сталефибробетонные конструкции». Также в 2015 году был выпущен СТО НОСТРОЙ 2.27.125-2013 «Конструкции транспортных тоннелей из фибробетона». Используемые и представленные на нашем рынке виды дисперсной арматуры представлены в табл. 1.

Продажа и техническая поддержка дисперсной арматуры в нашей стране проводится также и рядом иностранных компаний, которые ищут новые рынки сбыта. Не умаляю достоинств наших отечественных производителей, но по определенным показателям в исследованиях и производстве стальной дисперсной арматуры наши западные партнеры ушли несколько дальше.

По сегодняшний день у заказчика и подрядчика бытует ошибочное представление о том, что, да, она может быть разной формы, технологически выполнена по-разному, но вся стальная фибра одинаковая. При этом даже проволоочная фибра разных производителей, идентичная по размерам и форме, имеет различные физико-технические характеристики и прочность на растяжение. Определенная разъяснительная работа в этом направлении ведется, но часто производители просто ведут конкурентную борьбу и лишь единицы на практике проводят натурные испытания и всеобъемлющие исследования [4].

Причин несколько. Первая — ограниченные финансовые возможности российских производителей. Иностранные компании имеют финансовую возможность заказать дорогостоящее исследование и подкрепить таким образом свои рекламные материалы подробным техническим отчетом. При этом исследования проводят в том числе и на территории РФ. Вторая причина — это нежелание российских производителей ориентироваться на западный рынок и принять западные стандарты. Из наших компаний это сделала только «Северсталь-метиз» (торговая марка *Hendix*), наряду с СТО их продукция имеет европейский стандарт *EN*. Понятно, что «Северсталь-метиз» поставляет свою продукцию на международный рынок и поэтому их продукция должна соответствовать его требованиям. Тем не менее, хотя в РФ пользоваться еврокодами и нельзя, это запрещено Евросоюзом, и многие ведущие отечественные специалисты не признают европейские стандарты, но на практике многие статьи из них адаптированы и включены в наши стандарты.

Значительное количество работ по изучению свойств стальных фибр и СФБ не отражает полную картину того, как влияют тип и свойства фибр на эксплуатационные характеристики сталефибробетонных или сталефиброжелезобетонных конструкций.

Нужно понимать, что каждый тип фибры должен использоваться в конкретном типе строи-

Таблица 1

Свойства различных видов волокон для изготовления фибры

Волокно, тип материала	Плотность, г/см ³	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, МПа	Удлинение при разрыве, %
Полипропиленовое	0,90	400–700	3500–8000	10–25
Полиэтиленовое	0,95	600–720	1400–4200	10–12
Нейлоновое	1,10	770–840	4200–4500	16–20
Акриловое	1,10	210–420	2100–2150	25–45
Полиэфирное	1,40	730–780	8400–8600	11–13
Хлопковое	1,50	420–700	4900–5100	3–10
Асбестовое	2,60	910–3100	68 000–70 000	0,6–0,7
Стеклоанное	2,60	1800–3850	7000–8000	1,5–3,5
Стальное	7,80	600–3150	190 000–210 000	3–4
Углеродное	2,00	2000–3500	200 000–250 000	1–1,6
Карбоновое	1,63	1200–4000	280 000–380 000	2,0–2,2
Полиамидное	0,90	720–750	1900–2000	24–25
Вискозное сверхпрочное	1,20	660–700	5600–5800	14–16
Базальтовое	2,6–2,7	1600–3200	7000–11 000	1,4–3,6

тельных конструкций. Нельзя также исключать и то, что какой-то определенный тип фибры может при разной дозировке использоваться в разных конструкциях: и в полах, и в фундаментах, и в торкрет-бетоне¹ [1–3].

Некоторые производители рекомендуют применять свою продукцию во всех типах строительных конструкций, варьируя не только дозировку фибры в кг, но и тип выпускаемых ими волокон. Именно данный путь правилен, и вот почему. Фибры определенного размера невозможно должным образом интегрировать в тело бетонной матрицы, например, тонкостенных конструкций, а вот в материалоемких полах фибробетон с аналогичным видом фибры будет нормально изготовлен и уложен.

В качестве такого положительного примера можно рассмотреть продукцию компании *Bekaert*. Компания предлагает три варианта своей продукции 3D, 4D, 5D, четко дифференцируя и указывая, в каком виде конструкций их можно использовать, что отражено в табл. 2.

¹ Deutsches Institut für Normung e.V. (2008) *DIN 1045-1:2008-08 Concrete, reinforced and prestressed concrete structures - Part 1: Design and construction*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Germany.

Также в рамках определения прочностных характеристик образцов фибробетона с различными видами стальной фибры согласно требованиям EN 14651² НИУ МГСУ по заказу «Бекарт Уайер» (представитель *Bekaert* в РФ) провело исследование шести различных типов стальной фибры, приведенных в табл. 3. Внешний вид см. на рис. 1. Для проведения испытаний с каждым типом стальной фибры изготавливалась серия из шести образцов-балок размером 150×150×600 мм (табл. 4).

При этом состав бетона, используемые сырьевые материалы и технология изготовления образцов были идентичны для последующей сравнительной оценки результатов испытаний согласно методике, приведенной в EN 14651.

СП 52-104-2006 «Сталефибробетонные конструкции» при расчете конструкций не устанавливает требований и не рассматривает предельную прочность на растяжение при изгибе и остаточное сопротивление на растяжении при изгибе при заданной величине раскрытия трещин сталефибробетона, в то время как в между-

² British Standards Institute (2007) *BS EN 14651:2005+A1:2007. Test method for metallic fibred concrete. Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual*. Author, London, UK.

Таблица 2

Продукция компании *Bekaert*

Тип	Вид	Частные случаи использования	Примечания
3D	Конструкции и изделия, работающие при небольших нагрузках в предельном состоянии первой группы (ULS)	Различные полы (монолитные и немонолитные) Фундаменты частных домов Торкрет-бетон Сборные железобетонные трубы	Анкер разработан для «нормальной прочности на разрыв». Аналоги существуют, но проигрывают по своим характеристикам
4D	Конструкции и изделия, работающие при небольших нагрузках в предельном состоянии первой группы (ULS)	Комбинированные плитные покрытия Опорные фундаментные плиты, работающие в предельном состоянии второй степени (SLS) Покрывтия тяжелого типа Бесшовные полы (без деформационных швов)	Анкер разработан для «высокой прочности на разрыв». Обладает наилучшими возможностями при эксплуатации
5D	Усиление для конструкций, работающих в предельном состоянии первой группы	Несущие перекрытия (полы на сваях) Опорные плиты (для жилых помещений) Сегменты тоннельной обделки Гражданские сооружения Мосты	Анкер разработан для «сверхвысокой прочности на разрыв». Самая высокая эластичность. Непревзойденные технические характеристики

Таблица 3

Маркировка стальной фибры

№	Наименование	Производитель	Маркировка	Нормативный документ
1	Фибра стальная фрезерованная	ООО «СпецРемСталь»	ФСФ	ТУ 0882-001-65612174-2013
2	<i>Dramix 3D 80/60BG</i>	BEKAERT	80/60	–
3	Фибра стальная проволоочная	ООО НПО «Гальва»	«Гальва»	ТУ 1211-5-21486343-10
4	Фибра стальная резаная из листа для дисперсного армирования бетона	ООО «НПК «Волтек Плюс»	«Челябинка»	ТУ 1231-001-70832021-2010
5	<i>Dramix 3D 45/50BL</i>	BEKAERT	45/50	–
6	Фибра стальная <i>FIBREX</i>	ООО НПО «Магнитогорск Фибра-Строй»	<i>FIBREX</i>	ТУ 0991-125-53832025-2001

народных документах (EN 1992-2 и Eurocode 2) эти параметры являются важнейшими характеристиками сталефибробетона^{3,4,5,6,7} [5].

В связи с этим производители работ вынуждены разрабатывать стандарты организаций для учета данных параметров. СТО НОСТРОЙ

³ British Standards Institute (2007) BS EN 14651:2005+A1:2007. Test method for metallic fibred concrete. Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual. Author, London, UK.

⁴ European Committee for standardization (2004) EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. CEN, Brussels, Belgium.

⁵ Deutsches Institut für Normung e.V. (2008) DIN 1045-1:2008-08 Concrete, reinforced and prestressed concrete structures - Part 1: Design and construction. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Germany.

⁶ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (2012) DAfStb-Richtlinie "Stahlfaserbeton": Ergänzungen und Änderungen zu DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA, DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 und DIN EN 13670 in Verbindung mit DIN 1045-3. DAfStb, Berlin, Germany.

⁷ The Concrete Society (2013) Technical Report 34. Concrete industrial ground floors — a guide to design and construction. The Concrete Society, Camberley, UK.

Таблица 4

Обозначение серий образцов

№ п/п	Вид фибры	Дозировка фибры, кг на 1 м³ бетона	Обозначение серии
1	ФСФ	30	1
2	<i>Dramix 3D 80/60BG</i>	30	2
3	«Гальва»	30	3
4	«Челябинка»	30	4
5	<i>Dramix 3D 45/50BL</i>	30	5
6	<i>Fibrex</i>	30	6
7	<i>Dramix 3D 80/60BG</i>	15	7

ФБТК–2013 «Освоение подземного пространства. Конструкция транспортных тоннелей из фибробетона. Правила проектирования и производства работ» устанавливает требования и приводит классификацию фибробетона по оста-

Рис. 1. Различные виды стальной фибры: а — ФСФ; б — 80/60; в — «Гальва»; г — «Челябинка»; д — 45/50; е — *FIBREX*

точной прочности на растяжение при изгибе (приложение В).

Расхождение в значениях средней предельной прочности на растяжение при изгибе в момент образования трещины для всех серий испытанных образцов сталефибробетона не превышает 10 % (табл. 5, рис. 2), поэтому оценку эффективности применения изученных типов стальной фибры можно произвести по классу фибробетона по остаточной прочности на растяжение при изгибе согласно классификации, СТО НОСТРОЙ ФБТК–2013 (табл. 6).

По результатам испытаний установлено, что наибольшие значения остаточной прочности при изгибе получены при применении стальной фибры *Dramix 3D 80/60BG*; данный эффект наблюдается даже при снижении дозировки данной стальной фибры в два раза.

Полученный результат испытаний, хотя они и проведены и не по действующему в РФ стандарту *EN*, доказывает, что вид и тип используемой фибры являются ключевыми факторами повышения прочности бетонного дисперсно армированного композита.

Таблица 5

Средние значения прочностных характеристик сталефибробетона с различными образцами стальной фибры

Маркировка стальной фибры	Предельная прочность на растяжение при изгибе в момент образования трещины, МПа	Остаточное сопротивление на растяжение при изгибе при указанной ширине раскрытия трещины, МПа			
		0,5 мм	1,5 мм	2,5 мм	3,5 мм
ФСФ	3,83	1,41	0,77	0,35	0,27
<i>Dramix 3D 80/60BG</i>	3,69	2,90	2,85	2,81	2,80
<i>Dramix 3D 80/60BG (15 кг)</i>	3,77	2,42	2,25	2,27	2,21
«Гальва»	3,85	1,85	1,50	1,30	1,24
«Челябинка»	3,71	2,41	1,27	0,93	0,78
<i>Dramix 3D 45/50BL</i>	3,65	1,79	1,50	1,48	1,43
<i>Fibrex</i>	3,85	2,75	1,74	0,85	0,53

Рис. 2. Зависимость нагрузки от ширины раскрытия трещины для сталефибробетона с различными образцами стальной фибры

Таблица 6

**Классификация испытанных составов сталефибробетона по остаточной прочности
(сопротивлению) на растяжение при изгибе**

Оценка эффективности применения фибры по остаточной прочности на растяжение при изгибе	Маркировка стальной фибры	Класс фибробетона по остаточной прочности на растяжение при изгибе согласно СТО НОСТРОЙ ФБТК–2013
1	ФСФ	B1,0 <i>a</i>
2	<i>Fibrex</i> «Челябинка»	B2,5 <i>a</i>
3	<i>Dramix 3D 45/50BL</i> «Гальва»	B2,5 <i>b</i>
4	<i>Dramix 3D 80/60BG (15 кг)</i>	B3,5 <i>c</i>
5	<i>Dramix 3D 80/60BG</i>	B3,5 <i>d</i>

В заключение хочется отметить, что добровольную сертификацию своей фибры прошли многие компании-производители из РФ, в частности ООО «НПК ВОЛВЕК ПЛЮС» (торговая марка «Челябинка») сделало это в Независимом центре сертификации продукции «Композит-Тест». Рансе упомянутая «Северсталь-метиз», наряду с российским, получила европейский сертификат соответствия. Производитель ООО «Си Айрлайн» (торговая марка ВСМ) пошел дальше и совместно с ОАО ЦНИИС разработал СТО 13429727-001–2013, а также получил результаты испытаний, подтвердивших соответствие их продукции СП 35.13330.2011, СП 46.133330.2011 и МГСН 5.02–99⁸. Также данной организацией были получены патенты на изобретения в КНР, США и Европе, что в принципе подтверждает серьезность намерений по распространению их продукции в мире.

Какую сертификацию проходят российские фибропроизводители в общем и в частности? Они только подтверждают, что производимая ими продукция соответствует разработанным ими же техническим условиям. Как такового единого ГОСТ или стандарта на фибру в РФ нет, значит, организация-производитель может разработать внутренний норматив организации, представить его в орган сертификации и подтвердить, что выпускаемая ими продукция полностью ему соответствует.

Действительно, на фибру, во всем ее разнообразии, отсутствует какой-либо ГОСТ. Все сертификаты на нее у разных производителей сделаны по системе добровольного подтверждения. Производитель при этом вправе ссылаться на свои ТУ или ГОСТ по проволоке, если идет речь о проволочной фибре. По мнению специалистов это связано, прежде всего, с тем, что ее применение осуществляется только на добровольной основе, так как в качестве конструкционного материала использование фибры не допускается, поскольку нигде официально не разрешено. Исходя из этого, никогда не возникала необходимость сертифицировать ее на обязательной основе, тем более разрабатывать единый ГОСТ, который бы определял качество фибры как продукции.

Надо определиться с типами фибры, которые допустимо использовать в тех или иных конструкциях, но делать это на основе европейского опыта, например стальная фибра анкерного типа допустима для использования в несущих конструкциях (там это называется «Система 1»), полимерная фибра — для применения в несущих конструкциях как добавка, работающая на первом этапе набора прочности бетонной матрицы.

Необходимо привести всех производителей и поставщиков фибры к единому стандарту, в котором будет указано, что продукция, производимая компанией, прошла сертификацию в аккредитованном Минстроем центре или лаборатории. Также законодательно необходимо установить возможность использования того

⁸ Технический отчет по теме: «Определение влияния различных типов армирующего волокна на физико-механические свойства образцов сталефибробетона». НИУ МГСУ, 2016.

или иного типа фибры в определенных видах конструкций.

Возможно, следующим этапом развития дисперсной арматуры, несмотря на вид используемого при ее изготовлении материала (металл, полипропилен и др.), станет создание саморегулируемой организации аналогично «Некоммерческому партнерству «Национальное объединение производителей и поставщиков строительных материалов»», и именно данная организация выпустит тот национальный нормативный стандарт, который станет законодательной основой для дальнейшего распространения фибры как дисперсной арматуры для бетона.

Библиографический список

1. Пухаренко Ю. В. Принципы формирования структуры и прогнозирование прочности фибробетон // Строительные материалы. 2004. № 10. С. 47–51.
2. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М.: АСВ, 2004. 560 с.
3. Талантова К. В., Михеев Н. М. Исследование влияния свойств стальных фибр на эксплуатационные характеристики сталефибробетонных конструкций // Ползуновский вестник. 2011. № 1. С. 194–198.

4. Войлоков И. А. Фибробетон — история вопроса. Нормативная база, проблемы и решения // Международное аналитическое обозрение. 2009. № 2. С. 34–43.

5. Chandler J. W. E. Technical Report 550. Design of Floors on Ground. MPA Cement, Camberley, UK, 1982.

References

1. Pukharenko Yu. V. *Printsipy formirovaniya struktury i prognozirovaniye prochnosti fibrobetonov* [Principles of formation of the structure and the forecasting of fiber-reinforced concrete strength]. *Stroitel'nye materialy – Building materials*, 2004, no. 10, pp. 47–51.
2. Rabinovich F. N. *Kompozity na osnove dispersno-armirovannykh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstruksii* [Composites based on dispersed reinforced concrete. Issues of theory, design, technology, structure]. Moscow, ASV Publ., 2004, 560 p.
3. Talantova K. V., Mikheev N. M. *Issledovanie vliyaniya svoystv stal'nykh fibr na ehkspluatatsionnye kharakteristiki stalefibrobetonnykh konstruksiy* [Investigation of the effect of the steel fibers' properties on the behavior of steel fiber reinforced concrete structures]. *Polzunovskiy vestnik – Polzunovskii Herald*, 2011, no. 1, pp. 194–198.
4. Voylovok I. A. *Fibrobeton — istoriya voprosa. Normativnaya baza, problemy i resheniya* [Fiber-reinforced concrete: the history of the issue. Regulatory framework, problems and solutions]. *Mezhdunarodnoye analiticheskoe obozrenie – International Analytical Review*, 2009, no. 2, pp. 34–43.
5. Chandler J. W. E. Technical Report 550. *Design of Floors on Ground*. MPA Cement, Camberley, UK, 1982.