

УДК 624.046.5

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-12-20](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-12-20)**К.В. ТАЛАНТОВА**ФБОУ «Петербургский университет путей сообщения императора Александра I», Московский пр., д. 9,
г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация

К ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА

Аннотация

Введение. Требование обеспечения эксплуатационной надежности конструкций на основе сталефибробетона послужило основанием для проведения комплекса численных и экспериментальных исследований, направленных на изучение его свойств и определение коэффициентов надежности по композиционному материалу – сталефибробетону. Рекомендуемые нормами по сталефибробетону СП 52-104-2006* коэффициенты надежности назначаются отдельно по бетону-матрице и отдельно по фибровой арматуре, а по СП 360.1325800.2017 «...нормативные и расчетные значения сопротивления сталефибробетона осевому сжатию принимают равными их значениям, установленным в СП 63.13330 для аналогичного класса обычного бетона».

Цель. На основе принципов формирования свойств классических композиционных материалов и систематизации данных обеспечения свойств сталефибробетона провести комплексные исследования и по их результатам определить коэффициенты надежности по композиту – сталефибробетону – в соответствии с выбором типа фибры и характеристик бетона-матрицы проектируемой конструкции.

Материалы и методы. Исследования проводились численными и экспериментальными методами. Для приготовления сталефибробетона были использованы типы фибры, предлагаемые отечественными производителями и наиболее часто упоминаемые в исследованиях российских ученых, в качестве матрицы был принят мелкозернистый бетон. Лабораторные образцы были изготовлены по ГОСТ 10180-90 и ГОСТ 310.4-81. Образцы сталефибробетона были испытаны по прочности и деформативности. Результаты испытаний прошли статистическую обработку.

Результаты. В результате выполненных исследований были получены коэффициенты надежности по сталефибробетону в зависимости от типа фибры и напряженно-деформированного состояния образца.

Выводы. Для обеспечения эксплуатационной надежности конструкций различного назначения с применением сталефибробетона необходимо наличие коэффициентов надежности по материалу – сталефибробетону, структура и свойства которого формируются при взаимодействии стальной фибры и бетонной матрицы, в соответствии с размерами сечения проектируемого элемента. Очевидна необходимость внесения в нормативные документы по проектированию конструкций на основе сталефибробетона однозначности в определение коэффициентов надежности по композиту – сталефибробетону.

Ключевые слова: композит – сталефибробетон, сталефиброжелезобетонные конструкции, коэффициенты надежности, расчетные сопротивления, экспериментально-теоретические исследования, типы стальных фибр, геометрия сечения, коэффициенты ориентации, напряженно-деформированное состояние

Для цитирования: Талантова К.В. К обеспечению надежности элементов конструкций на основе сталефибробетона // *Бетон и железобетон*. 2025. № 5 (630). С. 12–20. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-12-20](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-12-20). EDN: WHCVXH

Вклад автора

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 28.07.2025

Поступила после рецензирования 02.09.2025

Принята к публикации 04.09.2025

K.V. TALANTOVA

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Moskovsky pr., 9, Saint Petersburg, 190031,
Russian Federation

ON RELIABILITY OF STRUCTURAL ELEMENTS BASED ON STEEL FIBRE CONCRETE

Abstract

Introduction. Requirements for ensuring operational reliability of structures based on steel fiber concrete served as the basis for conducting a set of numerical and experimental studies aimed at studying its properties and determining the reliability factors for the composite material – steel fiber concrete. The reliability factors recommended by the standards for steel fiber concrete SP 52-104-2006* are assigned separately for the concrete matrix and separately for the fiber reinforcement, and according to SP 360.1325800.2017, “the standard and calculated values of resistance of steel fiber concrete to axial compression are taken equal to their values established in SP 63.13330 for a similar class of ordinary concrete.”

Aim. Based on the principles of formation of properties of classical composite materials and systematization of data on ensuring the properties of steel fiber concrete, conduct comprehensive studies and, based on their results, determine the reliability factors for the steel fiber concrete composite in accordance with the choice of the fiber type and characteristics of the concrete matrix of the designed structure.

Materials and methods. The studies were carried out using numerical and experimental methods. For the preparation of steel fiber concrete, the types of fiber offered by domestic manufacturers and most often mentioned in the studies of Russian scientists were used, fine-grained concrete was adopted as a matrix. Laboratory samples were manufactured according to State Standard 10180-90 and State Standard 310.4-81. Samples of steel fiber concrete were tested for strength and deformability. The test results were statistically processed.

Results. As a result of the conducted research, reliability factors for steel fiber concrete were obtained depending on the type of fibers and the stress-strain state of the sample.

Conclusions. To ensure the operational reliability of structures for various purposes using steel fiber concrete, it is necessary to have reliability factors for the material – steel fiber concrete, the structure and properties of which are formed during the interaction of steel fiber and concrete matrix, in accordance with the dimensions of the section of the designed element. There is an obvious need to introduce unambiguity in the definition of reliability factors for the steel fiber concrete composite into regulatory documents for the design of structures based on steel fiber concrete.

Keywords: steel fiber concrete composite, steel fiber reinforced concrete structures, reliability factors, calculated resistances, experimental and theoretical studies, types of steel fibers, section geometry, orientation factors, stress-strain state

For citation: Talantova K.V. On reliability of structural elements based on steel fibre concrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 5 (630), pp. 12–20. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-12-20](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-12-20). EDN: WHCVXH

Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the work on the article.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 28.07.2025

Revised 02.09.2025

Accepted 04.09.2025

Применение композита – сталефибробетона (СФБ) – в элементах конструкций различного назначения диктует необходимость проведения поиска и систематизации данных обеспечения надежности комплекса свойств СФБ на основе принципов формирования свойств композиционных материалов (КМ) в зависимости от требований, предъявляемых к разрабатываемой конструкции [1, 2].

Нормативный коэффициент вариации прочностных характеристик бетона, в соответствии с российскими нормами, составляет 0,135 [3]. Большой объем экспериментальных исследований СФБ показал высокую стабильность его прочностных характеристик, коэффициент вариации прочности на сжатие оценивается в 0,033–0,050 (см. табл. 5). Статистическая изменчивость свойств композита – сталефибробетона – заметно ниже, что позволяет при проектировании, оценив коэффициенты надежности по материалу, гарантировать его разумное резервирование свойств. Области целесообразного применения конструкций на основе сталефибробетона, как правило, определяются высокими требованиями к физико-механическим характеристикам элементов конструкций при действии статических и динамических нагрузок и неблагоприятных условий эксплуатации (агрессивная среда, влажность, высокая или низкая температура и т. п.).

Структура сталефибробетона (строительного композита), а значит его физико-механические характеристики формируются на основе структуры исходного бетона и в большой степени определяются наличием стальной фибры: ее количеством μ_{fv} , %, типом (проволочная, листовая и т. п.), длиной l_f , диаметром d_f , отношением l_f/d_f , прочностью на растяжение R_{sf} , деформативностью E_f , размерами сечения и их соотношением с геометрией фибры [4]. Анализ представленных в открытой печати принципов формирования его структуры показал, что одним из определяющих параметров, обеспечивающих заданные эксплуатационные характеристики конструкций на его основе, является, помимо прочего, объемное содержание фибр в материале – μ_{fv} , %. В трудах российских и зарубежных ученых предлагаются разные способы задания этого параметра [4–8].

Для решения задачи определения объемного содержания фибры в сталефибробетоне и конструкциях на его основе, а также его оптимизации был разработан программный модуль (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012619865 от 31.10.2012), с помощью которого, в зависимости от выбранного типа фибры и напряженно-деформированного состояния разрабатываемой

конструкции, определяется объемный коэффициент фибрового армирования μ_{fv} [9].

Однако в СП 52-104-2006* [10] указано: расчетные значения сопротивления сталефибробетона на сжатие R_{fb} и на растяжение R_{fbt} в зависимости от класса сталефибробетона по прочности на сжатие для предельных состояний первой и второй групп рекомендуется принимать как для тяжелого и мелкозернистого бетона равным 1,3, а для стальной фибры – 1,05, аналогично требованиям СП 63.13330.2018 [11].

В СП 360.1325800.2017 [12] коэффициенты надежности по бетону и по стальной арматуре для предельных состояний первой и второй групп рекомендуется принимать как для обычного бетона и арматуры по СП 63.13330.2018 [11]. Кроме того, приведены «значения коэффициентов надежности по сталефибробетону γ_{ft} для расчета по предельным состояниям первой группы:

1,5 – при назначении класса сталефибробетона по прочности на сжатие;

1,3 – при назначении класса сталефибробетона по прочности на растяжение».

Однако в СП 63.13330.2018 [11] не приводятся сведения ни по характеристикам исходного бетона, ни по характеристикам стальной фибры. Нет информации в зависимости от каких параметров следует назначать класс сталефибробетона. Поскольку в зависимости от длины фибры l_f и ее отношения к диаметру l_f/d_f , а также размеров сечения проектируемого элемента ($b \times h$) изменяются коэффициенты ориентации фибр k_{or} и k_n [4] и, соответственно, свойства сталефибробетона.

С целью уточнения коэффициентов надежности по сталефибробетону были выполнены численные и экспериментально-теоретические исследования свойств композиционного материала – сталефибробетона – и определения областей его рационального применения [7, 13].

В исследованиях рассматривались типы фибры, предлагаемые отечественными производителями и наиболее часто упоминаемые в исследованиях российских ученых (табл. 1), в качестве матрицы был принят мелкозернистый бетон. В работе определялись прочность СФБ на сжатие R_{fb} , растяжение при изгибе R_{fbt} и растяжение при раскалывании R_{fbtsh} , а также предельные деформации растяжения ε_{ftu} и сжатия ε_{fcu} сталефибробетона.

В качестве сырья для приготовления СФБ смеси использовались мелкозернистый бетон класса В30 и стальные фибры, характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Стальные фибры, используемые в экспериментах

Table 1

Steel fibers used in the experiments

Тип фибры	Диаметр фибры, d_f , $d_{f,red}$, мм	Длина фибры, l_f , мм	Отношение длины/диаметр, l_f/d_f	Расчетное сопротивление, R_{sf} МПа	Модуль упругости, E_{sf} МПа
Токарная	0,24	20	83	400	$2,0 \times 10^5$
Проволочная	0,39	32	82	500	$2,0 \times 10^5$
*Листовая	0,60	35	58	400	$1,9 \times 10^5$
*Фрезерованная	0,60	34	57	300	$1,8 \times 10^5$

Примечание: $d_{f,red}^* = \sqrt{\frac{4 \times A_f}{\pi}}$ – приведенный диаметр фибры некруглого сечения; A_f – площадь поперечного сечения фибры, мм.

Изготовление и испытание образцов статически нагруженными выполнялись в сертифицированных лабораториях в соответствии с требованиями ГОСТ.

Испытания лабораторных образцов стандартных размеров выполнялись статическими нагрузками [14, 15]. Было изготовлено всего 1140 образцов с различным объемным процентом фибрового армирования $\mu_{fv} = 1,0; 1,5; 2,0$ %. Выбор размеров образцов определялся требованиями ГОСТ на бетоны и цементы. При этом учитывались размеры сечений проектируемых конструкций и тот факт, что в зависимости от соотношения размеров сечения элемента ($b \times h$) и длины фибр (l_f) изменяются коэффициенты ориентации фибр (k_{or} и k_n) от 0,1 до 0,98 [4], степень их использования меняется в широких пределах. Следовательно, свойства СФБ и конструкций на его основе также существенно изменяются.

Образцы контрольного бетона для всех исследуемых параметров были отформованы из базового состава. Испытания образцов осуществлялись на прессе ПСУ-500. Для проведения испытаний были использованы приспособления в соответствии с ГОСТ 10180-90 [14] и ГОСТ 310.4-81 [15]. Измерения деформативных характеристик СФБ осуществлялись с помощью тензометрической системы ММТС-64.01 (СибНИА им. Чаплыгина) и тензорезисторов по ГОСТ 21616-91 [16] типа 2ПБК-400-200 с базой 50 мм (рис. 1).

Анализ результатов прочностных испытаний СФБ позволил оценить прирост прочности СФБ на сжатие (R_{fbr}) в соотношении с прочностью контрольного бетона (R_{bn}), который составил от 10 до 50 %, что соответствует литературным данным [5, 6, 8]. При этом разброс показателей прочности на сжатие, в зависимости от типа фибр, относительно невелик. Этот факт еще раз подтверждает, что прочность СФБ

на сжатие в большой степени зависит от характеристик бетонной матрицы [8, 17, 18].

Статистический анализ свойств строительного композита – сталефибробетона – показал, что структура СФБ существенно зависит и от характеристик армирующих волокон – фибр (временного сопротивления растяжению R_{sf} , модуля упругости E_{sf} , диаметра d_f , отношения длины и диаметра l_f/d_f , их объемного содержания μ_{fv} , формы фибры, состояния ее поверхности и т. д.). Кроме того, структура СФБ определяется характеристиками хрупкой бетонной матрицы (временным сопротивлением сжатию R_b и растяжению R_{bt} , начальным модулем упругости E_b или модулем деформации $E_{b,t}$ и т. п.) и, что особенно важно для композитов на основе хрупких матриц, состоянием фазы раздела (контактной зоны) матрица – волокно [5].

На основе экспериментальных данных [13] и их статистической обработки для обеспечения заданной надежности разрабатываемых элементов сталефибробетонных конструкций (СФБК) и сталефиброжелезобетонных конструкций (СФЖБК) были определены коэффициенты надежности по сталефибробетону на сжатие, растяжение при изгибе и растяжение при раскалывании в зависимости от 4-х типов фибр (табл. 1), объемного процента армирования и геометрии сечения образца из соотношений $R_{fbr}/R_{fb} = \gamma_{fb}$ (табл. 2); на растяжение при изгибе $R_{fbr}/R_{fb} = \gamma_{fb}$; на растяжение при раскалывании $R_{fbr}/R_{fb} = \gamma_{fb}$ [13].

Дальнейшая обработка данных позволила установить усредненные коэффициенты надежности по сталефибробетону в зависимости от типа фибр и напряженного-деформированного состояния элемента (табл. 3). Коэффициент надежности по СФБ на осевое растяжение после преобразований получился равным $\gamma_{fbt} = 1,23$ [18].

Деформативные характеристики сталефибробетона свидетельствуют о том, что наиболее перспективным вариантом фибрового армирования СФБК и СФЖБК является вариант с фиброй из малоуглеродистой стали. В исследованиях деформативных

характеристик сталефибробетона использовались фибры: токарная – из Ст3, листовая – из Ст20, фрезерованная – из Ст09Г2С, проволочная – из Ст0.

Некоторые результаты исследований приведены на графиках (рис. 1–3) и в табл. 2–6.

Таблица 2

Коэффициенты надежности по сталефибробетону на сжатие γ_{fb} для различных типов фибр и объемного содержания фибр в зависимости от размеров сечения

Table 2

Reliability coefficients for steel fiber concrete in compression γ_{fb} for different types of fibers and fiber volume percentage, depending on the cross-section size

Тип фибры $\mu_{fv}, \%$ $b \times h$ (см)	Токарная			Проволочная			Листовая			Фрезерованная		
	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2
4 × 4 × 16	1,14	1,27	1,12	1,11	1,09	1,14	1,12	1,15	1,12	1,23	1,16	1,19
10 × 10 × 10	1,06	1,11	1,14	1,14	1,09	1,15	1,04	1,07	1,16	1,12	1,21	1,11
10 × 10 × 40	1,12	1,09	1,18	1,19	1,14	1,17	1,17	1,17	1,13	1,15	1,15	1,21

Таблица 3

Коэффициенты надежности по сталефибробетону в зависимости от типа фибры и напряженного состояния образца

Table 3

Reliability coefficients for steel fiber concrete, depending on the type of fiber and the stress state of the sample

Напряженное состояние	Тип фибры			
	токарная	проволочная	листовая	фрезерованная
Сжатие, γ_{fb}	1,15	1,14	1,16	1,19
Растяжение при изгибе, γ_{ftb}	1,17	1,15	1,12	1,21
Растяжение при раскалывании, γ_{ftbsh}	1,16	1,13	1,18	1,24

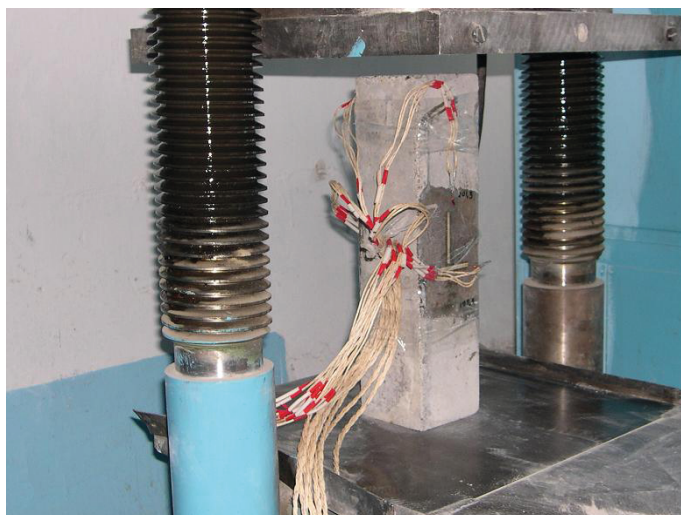


Рис. 1. Экспериментальные исследования деформативных свойств сталефибробетона: при испытании призмы на сжатие (фото К.В. Талантовой)

Fig. 1. Experimental studies of the deformation properties of steel fiber concrete: compression test of a prism (photo by K.V. Talantova)

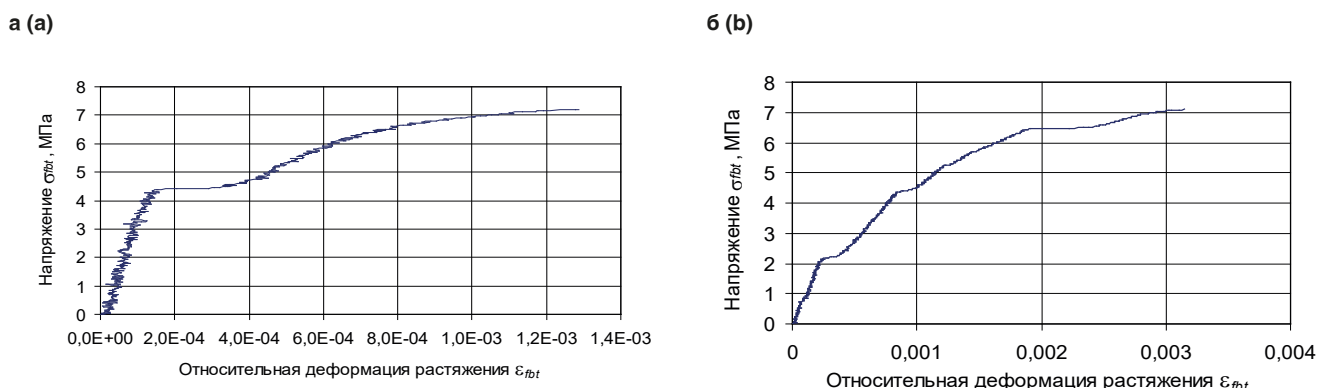


Рис. 2. График зависимости «напряжение – деформация при испытании на растяжение при изгибе» лабораторных образцов сталефибробетона: а – с токарной фиброй; б – с проволочной фиброй, $\mu_v = 2\%$
Fig. 2. Stress-strain curve for laboratory samples of steel fiber concrete under bending test: a – with turning fiber; b – with wire fiber, $\mu_v = 2\%$

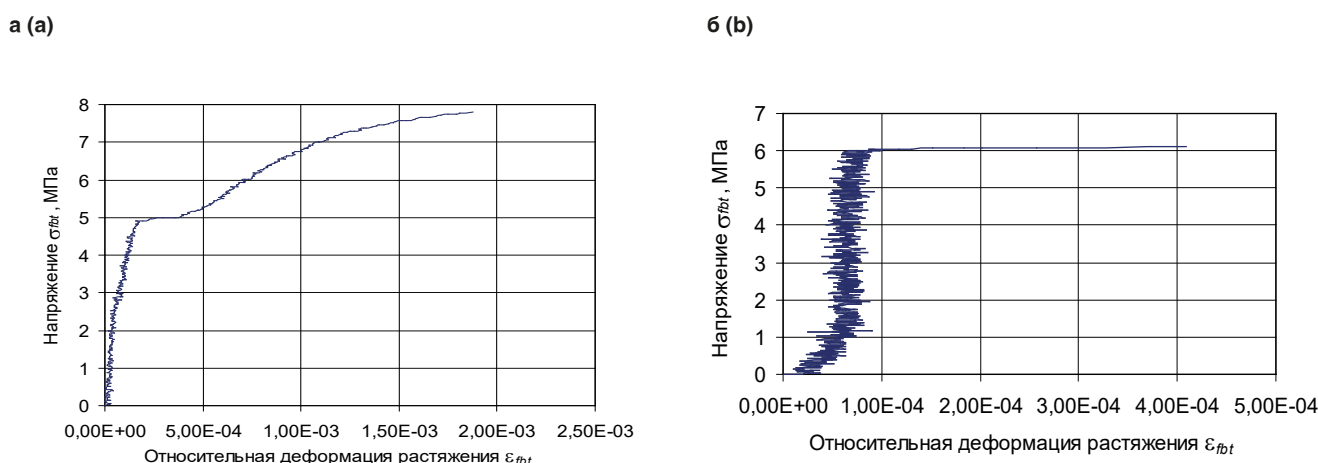


Рис. 3. График зависимости «напряжение – деформация при испытании на растяжение при изгибе» лабораторных образцов сталефибробетона: а – с токарной фиброй; б – с проволочной фиброй, $\mu_v = 2\%$
Fig. 3. Stress-strain curve for tensile bending testing of laboratory samples of steel fiber concrete: a – with turning fiber; b – with wire fiber, $\mu_v = 2\%$

Таблица 4

Характеристика предельной растяжимости $\epsilon_{fbt,u}$ и сжимаемости $\epsilon_{fbt,c}$ сталефибробетона в зависимости от типа фибры

Table 4

Characteristics of the ultimate extensibility $\epsilon_{fbt,u}$ and compressibility $\epsilon_{fbt,c}$ of steel fiber concrete, depending on the type of fiber

Тип стальной фибры							
проволочная		токарная		листовая		фрезерованная	
$\epsilon_{fbt,u} \times 10^3$	$\epsilon_{fb,c} \times 10^3$	$\epsilon_{fbt,u} \times 10^3$	$\epsilon_{fb,c} \times 10^3$	$\epsilon_{fbt,u} \times 10^3$	$\epsilon_{fb,c} \times 10^3$	$\epsilon_{fbt,u} \times 10^4$	$\epsilon_{fb,c} \times 10^3$
2,625	2,75	1,92	2,25	1,29	1,55	4,51	1,57

Графики «напряжение – деформация», полученные при оценке деформативных характеристик СФБ, а также наблюдения работы материала под нагрузкой позволяют сделать вывод о вязкой пластической

работе СФБ с проволочной и токарной фибрами (рис. 2, табл. 4).

При определении предельной растяжимости СФБ с листовой фиброй наблюдался характер разрушения

образца средний между СФБ с проволочной и фрезерованной фибрами (рис. 2б и 3б). При оценке предельной сжимаемости СФБ с листовой фиброй наблюдалось выкрашивание бетона-матрицы. В то же время предельная растяжимость СФБ с фрезерованной фиброй оказалась значительно ниже растяжимости СФБ с другими типами фибр (рис. 3б, табл. 4), а предельная сжимаемость оказалась близкой к этому показателю СФБ с листовой фиброй. При этом наблюдалось хрупкое разрушение материала с характерным треском и обрывом фибр.

Сравнительный анализ результатов статистической обработки экспериментальных и расчетных данных показал их хорошую сходимость с отклонением от 1,0 до 15 % и подтвердил, что зависимости, предложенные в [4; 13, Приложение В], могут использоваться для расчета нормативных сопротивлений СФБ для всех рассматриваемых типов фибры с допустимой степенью отклонения (табл. 5, 6).

Таблица 5

Экспериментальные данные деформативности при сжатии сталефибробетона, приготовленного с применением различных типов фибры

Table 5

Experimental data of compressive deformability of steel fiber concrete prepared using different types of fiber

Объемный процент армирования, μ_{fv}	Относительные деформации сжатия СФБ $\epsilon_{fbcu} \times 10^3$ для фибры			
	токарной	проволочной	листовой	фрезерованной
2,0	2,3 ± 0,036	3,23 ± 0,050	2,3 ± 0,040	1,82 ± 0,033

Таблица 6

Экспериментальные данные деформативности сталефибробетона на растяжение, приготовленного с применением различных типов фибры

Table 6

Experimental data of the tensile deformability of steel fiber concrete, prepared using different types of fiber

Объемный процент армирования, μ_{fv}	Относительные деформации сжатия СФБ $\epsilon_{fbtu} \times 10^4$ для фибры			
	токарной	проволочной	листовой	фрезерованной
2,0	19,20 ± 0,355	26,25 ± 0,496	12,90 ± 0,245	4,51 ± 0,029

Известно, что в железобетонных конструкциях бетон работает, как правило, в сжатых зонах, но не работает в растянутых, где усилия растяжения воспринимает арматура. В то время как в конструкциях на основе сталефибробетона (СФБК) в восприятии напряжения сжатия и растяжения участвуют сталефибробетонные сечения с соответствующими сопротивлениями. В сталефиброжелезобетонных конструкциях в растянутых зонах сталефибробетонное сечение работает совместно с регулярной арматурой.

Таким образом, для обеспечения эксплуатационной надежности СФБК (СФЖБК) целесообразно при их проектировании применение коэффициентов надежности по сталефибробетону, а не коэффициенты надежности по бетону-матрице и фибровой арматуре, так как свойства сталефибробетона формируются при взаимодействии бетона-матрицы и армирующих волокон-фибр.

Коэффициенты надежности по СФБ, полученные в результате экспериментально-теоретических исследова-

ний и их статистической обработки, прошли апробацию при разработке и испытаниях статическими нагрузками контейнера для хранения и захоронения токсичных промышленных отходов 1-го и 2-го классов опасности [19].

Выводы

1. В СП 360.1325800.2017 [12] указано, что «расчетные значения сопротивления сталефибробетона R_{fb} и R_{fbt} рекомендуется принимать в зависимости от класса сталефибробетона по прочности на сжатие для предельных состояний первой и второй групп как для обычного бетона по СП 63.13330.2018 [11]». Такой подход к определению коэффициентов надежности в ряде случаев приводит к снижению эффективности применения композита – сталефибробетона в строительных конструкциях.

2. Обеспечение надежности конструкций на основе сталефибробетона с высокими физико-механическими свойствами может быть достигнуто при определении коэффициентов надежности по сталефибробе-

тону с учетом взаимодействия бетонной матрицы и фибры.

3. Целесообразно продолжить дальнейшие исследования свойств материала – сталефибробетона – для различных типов фибры и бетонных матриц с тем, чтобы получить достоверные результаты определения коэффициентов надежности по сталефибробетону и внести их в нормы по проектированию сталефибробетонных (сталефиброжелезобетонных) конструкций.

Список литературы

1. Фудзии Т., Дзако М. Механика разрушения композиционных материалов: пер. с яп. Москва: Мир, 1982. 232 с.
2. Композиционные материалы. В 8 т. Т. 8, Ч. II: Анализ и проектирование конструкций / ред. К. Чамис, пер. с англ. Г.Г. Портнова. Москва: Машиностроение, 1978. 264 с.
3. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Москва: Стандартинформ, 2019.
4. Рекомендации по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций / НИИЖБ Госстроя СССР. Москва, 1987. 148 с.
5. Лобанов И.А. Особенности структуры и свойств дисперсно-армированных бетонов // *Технология изготовления и свойства новых композиционных строительных материалов*. Ленинград, 1986. С. 5–10.
6. Курбатов Л.Г. Проектирование и изготовление сталефибробетонных конструкций. Москва, 1985. 55 с. (Серия: Конструкции жилых и общественных зданий. Технология индустриального домостроения: обзор. информ. / ЦНТИ по гражд. стр-ву и архитектуре; вып. 4.).
7. Талантова К.В. Определение области рационального фибрового армирования с помощью программных средств при проектировании конструкций на основе сталефибробетона // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2015. № 10. С. 5–12. EDN: VJJZZZ.
8. Пухаренко Ю.В. Принципы формирования структуры и прогнозирование прочности фибробетона // *Вестник гражданских инженеров*. 2004. № 1. С. 98–103. EDN: JZfZVJ.
9. Талантова К.В. Оптимизация расхода стальной фибры при проектировании конструкций на основе сталефибробетона // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2014. № 8. С. 99–106. EDN: TFMJWH.
10. СП 52-104-2006*. Сталефибробетонные конструкции. Москва: ФГУП НИЦ «Строительство», 2010.
11. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Минстрой РФ, 2018.
12. СП 360.1325800.2017. Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ, 2018.
13. Талантова К.В. Определение коэффициентов надежности по сталефибробетону // *Строитель Донбасса*. 2018. № 2 (3). С. 17–21. EDN: AJYGIF.
14. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Москва: Стандартинформ, 2008.
15. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. Москва: Издательство стандартов, 2003.
16. ГОСТ 21616-91. Тензорезисторы. Общие технические условия. Москва: Издательство стандартов, 1991.
17. Браунс Я.А., Кравинскис В.К., Филипсон В.О. Статистический анализ распределения арматуры и прочность сталефибробетона // *Проектирование и оптимизация конструкций инженерных сооружений*. Рига, 1982. С. 89–95.
18. Курбатов Л.Г., Боровских Н.Н. Сопротивление сталефибробетона сжатию // *Исследование и расчет новых типов пространственных конструкций гражданских зданий: сб. науч. тр. Ленинград: ЛЕНЗНИИЭП, 1985. С. 58–62.*
19. Талантова К.В., Михеев Н.М. Разработка конструкции сталефибробетонного контейнера для размещения и захоронения токсичных промышленных отходов // *Бетон и железобетон*. 2009. № 5. С. 5–8.

References

1. Fujii T., Dzako M. Fracture Mechanics of Composite Materials: trans. from Japanese. Moscow: Mir Publ., 1982, 232 p. (In Russian).
2. Composite Materials. In 8 volumes. Vol. 8, Part II: Analysis and Design of Structures / ed. K. Chamis, trans. from English by G.G. Portnov. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1978, 264 p. (In Russian).
3. State Standard 18105-2018. Concretes. Rules for control and assessment of strength. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
4. Recommendations for the Design and Manufacture of Steel Fiber Concrete Structures / Research Institute of Reinforced Concrete of the USSR Gosstroy. Moscow, 1987, 148 p. (In Russian).
5. Lobanov I.A. Features of the structure and properties of dispersed-reinforced concrete. *Manufacturing technology and properties of new composite building materials*. Leningrad, 1986, pp. 5–10. (In Russian).
6. Kurbatov L.G. Design and manufacture of steel fiber concrete structures. Moscow, 1985, 55 p. (Series: Structures of residential and public buildings. Industrial housing construction technology: review information / CNTI for civil engineering and architecture; issue 4.). (In Russian).
7. Talantova K.V. Defining the area of rational fiber reinforcement by means of software when designing the structures on the basis of steel fiber concrete.

- News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2015, no. 10, pp. 5–12. (In Russian). EDN: VJJZZZ.
8. Pukhareno Yu.V. Principles of structure formation and strength prediction of fiber-reinforced concrete. *Bulletin of civil engineers.* 2004, no. 1, pp. 98–103. (In Russian). EDN: JZFZVJ.
 9. Talantova K.V. Optimization of steel fiber consumption in the design of structures based on steel fiber concrete. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2014, no. 8, pp. 99–106. (In Russian). EDN: TFMJWH.
 10. SP 52-104-2006*. Steel fibre reinforced concrete structures design. Moscow: FSUE Research Center of Construction, 2010. (In Russian).
 11. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Moscow: Ministry of Construction of the Russian Federation, 2018.
 12. SP 360.1325800.2017. Steel fiber reinforced concrete structures. Design rules. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
 13. Talantova K.V. Determination of reliability factor on steel fiber concrete. *The builder of Donbass.* 2018, no. 2 (3), pp. 17–21. (In Russian). EDN: AJYGIF.
 14. State Standard 10180-90. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Moscow: Standartinform Publ., 2008. (In Russian).
 15. State Standard 310.4-81. Cements. Methods for determining ultimate strength in bending and compression. Moscow: Publishing House of Standards, 2003. (In Russian).
 16. State Standard 21616-91. Strain gauges. General specifications. Moscow: Publishing House of Standards, 1991. (In Russian).
 17. Brauns J.A., Kravinskis V.K., Filipson V.O. Statistical analysis of reinforcement distribution and strength of steel-fiber concrete. *Design and optimization of engineering structures.* Riga, 1982, pp. 89–95. (In Russian).
 18. Kurbatov L.G., Borovskikh N.N. Resistance of steel fiber concrete to compression. *Research and calculation of new types of spatial structures of civil buildings: collection of scientific papers.* Leningrad: LENZNIIEP, 1985, pp. 58–62. (In Russian).
 19. Talantova K.V., Mikheev N.M. Development of the design of a steel fiber concrete container for the placement and burial of toxic industrial waste. *Beton i Zhelozobeton = Concrete and Reinforced Concrete.* 2009, no. 5, pp. 5–8. (In Russian).

**Информация об авторе /
Information about the author**

Клара Васильевна Талантова, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения», ФБОУ «Петербургский университет путей сообщения императора Александра I», Санкт-Петербург
e-mail: talant_bar@mail.ru

Klara V. Talantova, Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Building Structures, Buildings and Constructions, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg
e-mail: talant_bar@mail.ru