

DOI: 10.12737/article_5c5062099aebc6.33938587

¹Горбунов И.А., ^{1,2,*}Капустин Д.Е.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.²АО «Институт «Оргэнергострой» (АО ОЭС)
Россия, 115114, Москва, Дербеневская набережная, д.7, стр.10

*E-mail: kde90@bk.ru

РАСЧЕТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ БЕТОНА И СТАЛЕФИБРОБЕТОНА В ВЕРОЯТНОСТНОЙ ТРАКТОВКЕ

Аннотация. В настоящее время вопросу актуализации нормативных документов уделено особое внимание. В статье представлены результаты анализа статистического обоснования принятых в нормативных документах коэффициентов надежности по прочности бетона. Выполнен анализ реализации вероятностной схемы определения расчетной прочности бетона в железобетонных конструкциях. Приведен пример использования предложенной схемы для определения несущей способности изгибаемого железобетонного элемента, работающего совместно с несъемной сталефибробетонной опалубкой. При этом расчетные значения сталефибробетона назначены с учетом статистических данных для конкретного состава и технологии его изготовления. В результате полученный коэффициент безопасности соответствует нормативным требованиям. Приведенная расчетная модель изгибаемого железобетонного элемента с несъемной сталефибробетонной опалубкой получена в результате численного моделирования и натурных испытаний. В процессе испытаний контролировали напряженно деформированное состояние с использованием тензорезисторов, а контроль целостности и однородности конструкции определяли с использованием ультразвукового контроля. Полученные данные положены в основу отраслевого нормативного документа по расчету железобетонных конструкций, возводимых в несъемной опалубке из сталефибробетона на высокопрочной мелкозернистой матрице с содержанием 3 % по объему стальных волокон.

Ключевые слова: расчетное сопротивление бетона, сталефибробетон, прочность на осевое растяжение, несъемная опалубка.

Введение. Современный уровень технологии производства бетонных конструкций, в том числе сборного и монолитного железобетона, позволяет качественно повысить уровень выпускаемой продукции. В тоже время применение новых видов бетонов (самоуплотняющиеся, высокопрочные, сталефибробетоны и т.п.) требует пересмотра и обновления существующих, разработанных в прошлом столетии, нормативных документов РФ.

Примером может послужить назначение расчетных параметров бетона при расчете железобетонных конструкций, где без учета однородности, типа и прочности бетона назначен единый коэффициент надежности. Более пятидесяти лет назад А.Р. Ржаницыным и другими советскими учеными [1, 2, 3] была разработана логически обоснованная методика определения резерва прочности в расчетах строительных конструкций. Предполагалось проектировать несущую конструкцию с учетом вероятности случайных отклонений всех факторов от средних значений, а вероятность безотказной работы конструкции рассматривать как вероятность положительного значения разности между случайными величинами прочности и нагрузки. Высокопрочные бетоны, а также сталефибробетоны при их применении отличаются повышенной стоимостью по

сравнению с обычными бетонами, поэтому перерасход материала может привести к заметному удорожанию конструкции. Следовательно, любые коэффициенты запаса рекомендовано назначать исходя из статистических данных конкретного используемого материала и технологии его производства.

В настоящее время, в ряде энергетических объектов, реализуют применение сборно-монолитной технологии строительства с использованием несъемной сталефибробетонной опалубки [4, 5, 6]. В результате получают традиционный железобетон с наружной поверхностью из высокопрочного композита, толщиной около 30 мм. Не смотря на то, что проектировщики учитывают несъемную опалубку только на восприятие давления свежееуложенной бетонной смеси, при наборе прочности монолитного бетона образуется конструкция с комбинированным армированием в виде традиционных стальных стержней и слоя сталефибробетона, способного воспринимать сжимающие и растягивающие усилия [4]. Разработка нормативного документа, включающего методику расчета с учетом статистически обоснованного подхода к назначению расчетных параметров, является в настоящее время актуальной задачей. Данный нормативный документ должен включать не только опыт и рекомендации

российских ученых [7, 8, 9], но и зарубежных [8, 10].

Методология. Испытание строительных материалов и фрагментов конструкций производили в аккредитованных строительных лабораториях НИУ МГСУ и АО «Институт «Оргэнергострой» с использованием поверенных испытательных машин и средств измерения. Обработка результатов испытания осуществляли в соответствии с общеизвестными статистическими методиками.

Основная часть. В соответствии с нормативными документами, определение расчетного сопротивления бетона по двум предельным состояниям базируется на вводной характеристике – классе бетона. Решение задачи нахождения класса бетона по результатам испытания кубов имеет вероятностное обоснование, а также связано с наиболее простой методикой проведения испытаний. Но напряженное состояние при испытании стандартного кубика не реализуется в конструкции. То, что происходит с бетоном в сжатой зоне железобетонного элемента в предельном состоянии в большей или меньшей степени соответствует условиям разрушения призмы.

В отечественных нормативных документах переход от прочности куба к призмной прочности осуществляется с использованием эмпирического коэффициента α , который может изменяться в широких пределах [11]. Однако считать, что призмная прочность бетона (R_{bn}) соответствует обеспеченности 95% можно только при условии, что случайная величина – прочность призмы ($R_{п}$) и случайная величина – прочность куба ($R_{к}$) связаны зависимостью:

$$R_{п} = \alpha \cdot R_{к} \quad (1)$$

где α – постоянный коэффициент;

Если формула справедлива, то имеет место соотношение для средних значений призмной и кубиковой прочности и среднеквадратичных отклонений ($S_{R_{п}}$ и $S_{R_{к}}$):

$$\bar{R}_{п} = \alpha \cdot \bar{R}_{к} \quad (2)$$

$$S_{R_{п}} = \alpha \cdot S_{R_{к}} \quad (3)$$

В этом случае получим:

$$R_{bn(0.95)} = \alpha \cdot B \quad (4)$$

где $R_{bn(0.95)}$ – призмная прочность с обеспеченностью 95 %; B – класс бетона.

Отличаемые различия в коэффициентах вариации прочности кубов и призм свидетельствуют о неоднозначности определения призмной прочности по результатам испытания стандартных кубов, с ребром 150 мм.

В соответствии с положениями СП 63.13330.2012 (далее СП), значение нормативного сопротивления (R_{bn}) является исходным для получения расчетного сопротивления бетона на сжатие (R_b) по предельному состоянию первой группы. Переход от нормативного сопротивления к расчетному осуществляется путем введения единого понижающего коэффициента γ_{bc} (для тяжелого бетона при сжатии $\gamma_{bc} = 1,3$). Назначение этого коэффициента – коэффициента надежности по бетону – требует вероятностного обоснования, которого не может быть, если этот коэффициент постоянная величина для бетонов всех классов, при любой неоднородности по прочности и различной технологии изготовления. Правильная формулировка – детерминированная составляющая коэффициента запаса – n , как произведение вероятностной и детерминированной составляющей, определяется для тяжелого бетона в соответствии с СП по формуле:

$$n = \frac{1}{1 - 1,645 \cdot \nu_R} \cdot 1,3 \quad (5)$$

Коэффициент запаса прочности бетона на сжатие n по первому предельному состоянию может быть полностью определен на вероятностной основе, например, используя правило «трех сигм», согласно которому вероятность того, что случайная величина прочности R окажется за границами ($\bar{R} \pm 3 \cdot S_R$) практически равна нулю:

$$n' = \frac{1}{1 - 3 \cdot \nu_{R_{п}}} \quad (6)$$

где 3 – значение аргумента нормальной функции распределения, соответствующее вероятности 0,9986 превышения прочности бетона в конструкции расчетного сопротивления бетона по первой группе предельных состояний; $\nu_{R_{п}}$ – коэффициент вариации прочности бетона по результатам испытания призм.

При этом коэффициент надежности по бетону при сжатии γ_{bc} из рассмотрения исключается. Представляет интерес анализ изменения переменного понижающего коэффициента γ'_{bc} перехода от нормативного сопротивления R_{bn} к расчетному R_b , соответствующего по смыслу:

$$\gamma'_{bc} = \frac{1 - 1,645 \cdot \nu_{R_{п}}}{1 - 3 \cdot \nu_{R_{п}}} \quad (7)$$

Значения n' и γ'_{bc} по формулам (6) и (7) при различных коэффициентах вариации приведены в таблице 1.

При коэффициенте вариации прочности бетона $\nu_R = 13\%$ значение переменной величины γ'_{bc} (табл. 1) практически совпадает с постоянным по СП коэффициентом надежности по материалу $\gamma_{bc} = 1,3$ для тяжелого бетона.

Таблица 1
Зависимость n' и γ'_{bc} от коэффициента вариации

ν_{Rn}	n'	γ'_{bc}	γ_{bc}
0,05	1,18	1,08	1,3
0,10	1,43	1,19	
0,13	1,64	1,29	
0,20	2,50	1,68	

В рамках существующих норм расчетное сопротивление бетона на сжатие по первому предельному состоянию с использованием вероятностного коэффициента запаса n' (6), определяется по формуле:

$$R_b = \frac{\bar{R}_k \cdot \alpha}{n'} \quad (8)$$

где \bar{R}_k – прочность бетона по результатам испытания кубов.

Отдельного рассмотрения заслуживает случай оценки вероятностных параметров бетона с дисперсным армированием, в особенности, когда прочность на растяжение определяет несущую способность железобетонного элемента. Именно таким образом работает совместно с бетоном несъемная сталефибробетонная опалубка изгибаемого элемента.

В результате, при разработке методики расчета прочности железобетонных элементов с несъемной сталефибробетонной опалубкой предложен алгоритм, согласно которому расчетные значения прочностных характеристик материала определяют с учетом формулы (6). Его состоятельность рассмотрена на примере железобетонной балки с несъемной сталефибробетонной опалубкой, расположенной в растянутой зоне. При этом сталефибробетон воспринимает растягивающие усилия, заменяя стержневую арматуру. Аналогичные работы, в том числе с использованием программных комплексов, проведены за рубежом [12, 13].

Объектом испытания является железобетонная балка сечением 150×200(h) мм и рабочим пролетом 900 мм при величине зоны чистого изгиба 600 мм. Толщина сталефибробетонной опалубки 20 мм. В процессе испытания контролировали напряженно-деформированное состояние в

зоне действия чистого изгиба и поперечных сил с использованием тензорезисторов. Однородность зоны контакта сталефибробетона и монолитного бетона при испытании оценивали ультразвуковым, сквозным методом. Также в процессе испытания определяли величину прогиба в середине пролета. Всего было испытано три образца близнеца.

В качестве монолитного бетона приняли бетон со средней кубиковой прочностью 24,9 МПа при коэффициенте вариации 7,2 %. Прочность на растяжении при раскалывании равна 1,85 МПа, что соответствует 1,54 МПа прочности при осевом растяжении в соответствии с ГОСТ 10180, при этом коэффициент вариации 2,9 %.

Схема образца и общий вид в процессе испытания представлены на рисунке 1. Подробно результаты испытания представлены в [4].

Листы несъемной сталефибробетонной опалубки изготавливали с использованием стальной волнистой фибры диаметром 0,3 мм и длиной 15 мм с пределом прочности 2400 МПа, выбранной на основании результатов ранее проведенных исследований [4, 5, 6]. Объемное содержание фибры в цементно-песчаной матрице сталефибробетона было равно 3 %. Такой расход фибры позволяет получить однородную структуру сталефибробетона и обеспечить высокие показатели прочности.

Для оценки вероятностных параметров прочности сталефибробетона были выбраны стандартные образцы – кубы 100×100 и призмы 40×40×160, а также нестандартные образцы – пластины 340×60×20 для испытания на изгиб и галтели 340×60×20 для испытания на осевое растяжение. Выбранный размер образцов был обусловлен толщиной несъемной опалубкой, находящейся в диапазоне 20–30 мм. При таких толщинах ориентация стальных волокон происходит параллельно слоям укладки. Подробная методика испытаний и результаты описаны в предыдущих публикациях [5, 6].

Основные результаты определения прочностных характеристик сталефибробетона с объемным содержанием фибры 3 % сведены в таблице 2.

Таблица 2

Прочностные и статистические характеристики матрицы и сталефибробетона

Испытание кубов на сжатие		Испытание призм на сжатие		Испытание пластин на изгиб		Испытание пластин на осевое растяжение	
\bar{R}_k , МПа	ν_{Rk}	\bar{R}_n , МПа	ν_{Rn}	\bar{R}_{tt} , МПа	ν_{Rtt}	\bar{R}_t , МПа	ν_{Rt}
103,8	1,2	64,1	2,9	22,6	5,7	7,0	11,6

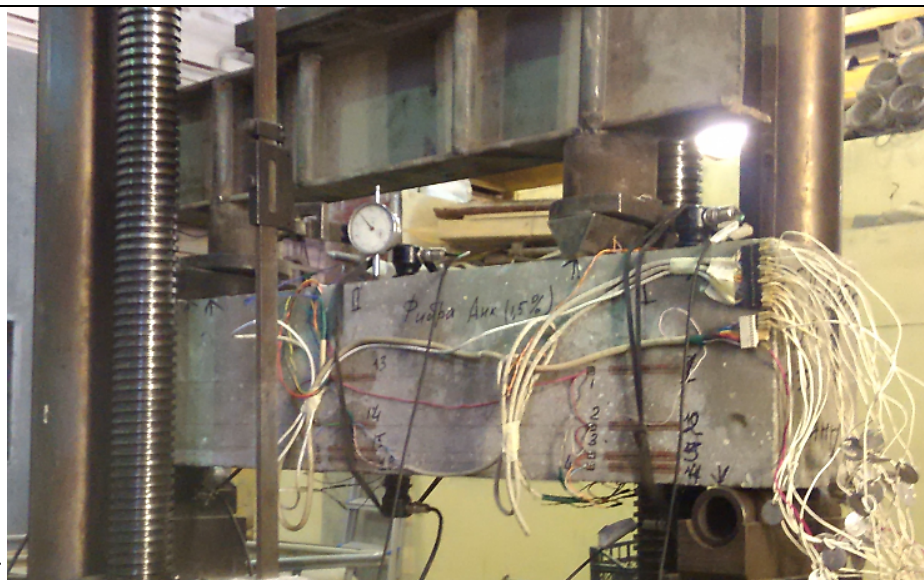
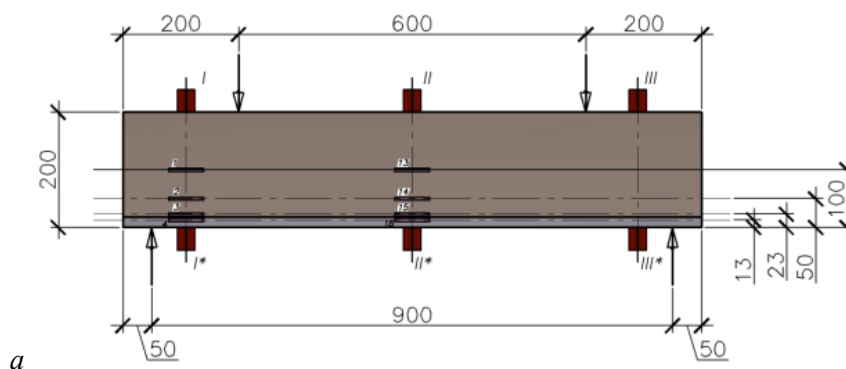


Рис. 1. Балка для проведения испытаний: а – схема испытания б – общий вид образца

Сравнительный анализ статистических характеристик призмной прочности и прочности на осевое растяжение сталефибробетона показывает, что определение расчетного сопротивления на осевое растяжение невозможно на базе данных результатов испытаний на сжатие.

По вероятностной схеме «трех сигм» расчетное сопротивление на растяжение сталефибробетонной несъемной опалубки определяют по результатам испытания на осевое растяжение образцов пластин толщиной практически равной

толщине листа опалубки. Опыт проведения испытаний показывает, что данные по 7 образцам можно считать представительной выборкой.

Предполагая подобие в схеме НДС в расчетном сечении можно определить вероятностный коэффициент запаса n' по несущей способности, коэффициенту вариации и обеспеченности 99,86 % по формуле (6). Значения коэффициентов запаса для различных НДС сведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения коэффициентов запаса на основе проведенных испытаний

По кубиковой прочности	По призмной прочности	По прочности на растяжение при изгибе	По прочности на осевое растяжение	По кубиковой/осевой при растяжении прочности монолитного бетона
1,04	1,1	1,21	1,53	1,28/1,1

На основании значительного количества испытанных подобных конструкций, а также испытания сталефибробетона на осевое растяжение, установлено, что в монолитном бетоне на всем протяжении испытаний не наблюдается появление видимых трещин, за счет чего значительно повышается жесткость конструкции. Кроме того,

разрушение железобетонного элемента происходит при достижении деформаций сталефибробетона в растянутой зоне около $23-26 \times 10^{-5}$, что соответствует предельным деформациям предела сопротивления при испытании сталефибробетона на осевое растяжение.

Анализ результатов испытания позволил сделать вывод, что в сечении реализуется упруго-пластическая модель распределения напряжений (рис. 2). При этом усилие в сталефибробетонной несъемной опалубке, расположенной в растянутой зоне, определяется пределом прочности сталефибробетона при осевом растяжении (R_{fbt}) и площадью поперечного сечения листа опалубки

(A_{fbt}). Усилие в растянутой зоне бетона определяется его пределом прочности на осевое растяжение (R_{bt}) по прямоугольной эпюре распределения напряжений по высоте поперечного сечения, а в сжатой зоне – напряжением в наиболее растянутом волокне, соответствующим пределу прочности бетона на осевое сжатие, по треугольной эпюре напряжений.

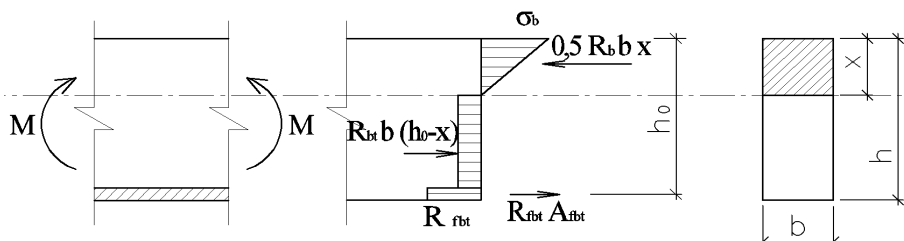


Рис. 2. Схема распределения деформаций и напряжений в железобетонном сечении со сталефибробетонной опалубкой

В этом случае высоту сжатой зоны и максимальный изгибающий момент определяют по формулам:

$$x = \frac{R_{bt} \cdot b \cdot h_0 + R_{fbt} \cdot A_{fbt}}{b \cdot (\frac{1}{2} R_b + R_{bt})} \quad (9)$$

$$M_{ep} = R_{fbt} \cdot A_{fbt} \cdot \left(h_0 - \frac{1}{3} \cdot x \right) + R_{bt} \cdot b \cdot (h_0 - x) \cdot \left(\frac{h_0 - x}{2} + \frac{2}{3} \cdot x \right) \quad (10)$$

Подставив полученные значения расчетных параметров сталефибробетона и бетона и монолитного бетона в формулы (9) и (10) получаем $x = 4,3$ см и $M_{ep} = 5,57$ кН × м.

Среднее фактическое разрушение образцов произошло при достижении момента внешней пары сил 6,96 кН × м, т.е. фактический коэффициент запаса 1,27, что соответствует требованиям к коэффициенту безопасности для изгибаемых железобетонных конструкций.

Выводы. Приведенный статистический подход к назначению расчетных параметров материала позволяет снизить коэффициент запаса, принятый по действующим нормативным документам, в то же время обеспечивает достаточный запас прочности конструкции.

Приведенный подход применим только для назначения расчетных параметров при расчете несущей способности конструкций и рекомендован при использовании сталефибробетона и высокопрочного бетона.

Следует продолжать работы по накоплению и анализу статистических данных для повышения достоверности применяемых расчетных методов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ржаницын А.Р. Расчет сооружений с учетом пластических свойств материалов. М.: Стройиздат, 1954. 288 с.
2. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.:

Стройиздат, 1978. 239 с.

3. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. М.: Изд-во АСВ, 1998. 304 с.

4. Капустин Д.Е. Прочностные и деформационные характеристики несъемной сталефибробетонной опалубки как несущего конструктивного элемента железобетонных конструкций: дис. канд. техн. наук. М., 2015. 211 с.

5. Дорф В.А., Красновский Р.О., Капустин Д.Е., Горбунов Е.А. Влияние характеристик фибры на кубиковую и призмную прочность сталефибробетона с цементно-песчаной матрицей // Бетон и железобетон. 2013. №6. С. 6–12

6. Дорф В.А., Красновский Р.О., Капустин Д.Е., Горбунов Е.А. Прочность сталефибробетонов с цементно-песчаной на растяжение при изгибе // Бетон и железобетон. 2014. №3. С. 5–8.

7. Сморгчов А.А., Кереб С.А., Орлов Д.А., Барановская К.О. Влияние коэффициента вариации на надёжность строительных конструкций // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 5 (50). С. 164–167.

8. Осипов С.Н. Об оценке надежности результатов испытания физических свойств строительных материалов // Наука и техника. 2014. №5. С. 18–24.

9. Попов В.М., Плюснин М.Г. Оценка обеспеченности расчетных сопротивлений

бетона. Междунар. науч.-практ. конф. «Строительство, дизайн, архитектура: проектные решения XXI века». 2015. С. 9–15.

10. Тур В.В., Дереченник С.С. Критерии оценки соответствия прочности бетона в подходах европейских и американских стандартов // Вестник Брестского государственного технического университета. 2012. №1. С. 177–182.

11. Краснощекоев Ю.В. Системная модель коэффициента призмочной прочности бетона. //

Вестник СибАДИ. 2016. № 3. С. 63–67.

12. Doo-Yeol Yoo, Hyun-Oh Shin, Jun-Mo Yang, Young-Soo Yoon. Material and bond properties of ultra high performance fiber reinforced concrete with micro steel fibers // Composites: Part B. V. 58. 2014. pp. 122–133.

13. Barros JAO, Taheri M., Salehian H. A model to simulate the moment–rotation and crack width of FRC members reinforced with longitudinal bars // Eng Struct. V. 100. 2015. pp. 43–56.

Информация об авторах

Горбунов Игорь Андреевич, кандидат технических наук, доцент, доцент научно-образовательного центра Испытания сооружений. E-mail: gorbunov1905@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Капустин Дмитрий Егорович, кандидат технических наук, доцент научно-образовательного центра Испытания сооружений. E-mail: kde90@bk.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26. АО «Институт «Оргэнергострой» (АО ОЭС). Россия, 115114, Москва, Дербеневская набережная, д. 7, стр. 10.

Поступила в сентябре 2018 г.

© Горбунов И.А., Капустин Д.Е., 2019

¹Gorbunov I.A., ^{1,2*}Kapustin D.E.

¹National Research Moscow University of Civil Engineering
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26

²JSC «Institut «Orgenergostroy»
Russia, 129337, Moscow, Derbenevskay Nabereznay, 7

*E-mail: kde90@bk.ru

STATISTICAL SUBSTANTIATION OF CONCRETE AND STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE STRENGTH

Abstract. At present, the actualization of regulatory documents is an important issue. The article presents results of statistical justification analysis of the strength concrete reliability coefficients adopted in regulatory documents. The analysis of the implementation of a probabilistic scheme to determine the design strength of concrete in reinforced concrete structures is made. An example of utilization the scheme for determining the bearing strength of the bent reinforce-concrete element that works in conjunction with fixed formwork of steel fiber concrete is given. In this case, the calculated values of the steel fiber concrete are assigned based on statistical data for a particular composition and its production technology. In result, obtained factor of safety meets regulatory requirements.

Keywords: design strength of concrete, steel fiber reinforced concrete, tensile strength, fixed formwork.

REFERENCES

1. Rzhantsyn A.R. Calculation of structure with considering the plastic properties of materials. Moscow: Stroyizdat. 1954, 288 p.

2. Rzhantsyn A.R. The theory of calculating building structures for reliability. Moscow: Stroyizdat. 1978, 239 p.

3. Raiser V.D. The theory of reliability in building design. Moscow: ACB. 1998, 304 p.

4. Kapustin D.E. Strength and deformation characteristics of non-removable steel-fiber concrete

formwork of the bearing structural element of reinforced concrete structures: thesis of candidate of technical Sciences. Moscow, 2015, 211 p.

5. Dorf V.A., Krasnovsky R.O., Kapustin D.E., Gorbunov E.A. The influence of fiber characteristics on the cubic and prismatic strength of steel-fiber concrete with cement-sand matrix. Concrete and reinforced concrete, 2013, no. 6, pp. 6–12.

6. Dorf V.A., Krasnovsky R.O., Kapustin D.E., Gorbunov E.A. Strength of steel-fiber concrete with cement-sand tensile bending. Concrete and reinforced concrete, 2014, no. 3, pp. 5–8.

7. Smorchkov A.A., Kereb S.A., Orlov D.A., Baranovskaya K.O. Influence of coefficient of variation on the reliability of building structures. Proceedings of the Southwest state University, 2013, no. 5 (50), pp. 164–167.

8. Osipov S.N. On evaluation of reliability of results of testing of physical properties of building materials. Science and technology, 2014, no. 5, pp. 18–24.

9. Popov V.M., Plyusnin M.G. Estimation of security of design resistances of concrete. International scientific and practical conference "Construction, design, architecture: design solutions of the XXI century", 2015, pp. 9–15.

10. Tur V.V., Directnic S.S. Criteria for conformity assessment of concrete strength in approach

of European and American standards. Vestnik of Brest state technical University, 2012, no. 1, pp. 177–182.

11. Krasnoshchekov Yu.V. System model of the coefficient of the prismatic strength of concrete. Bulletin SibADI. Edition 3, 2013, pp. 63–67.

12. Doo-Yeol Yoo, Hyun-Oh Shin, Jun-Mo Yang, Young-Soo Yoon. Material and bond properties of ultra high performance fiber reinforced concrete with micro steel fibers. Composites: Part B, vol.58, 2014, pp. 122–133.

13. Barros JAO, Taheri M., Salehian H. A model to simulate the moment–rotation and crack width of FRC members reinforced with longitudinal bars. Eng Struct, vol.100, 2015, pp.43–56.

Information about the authors

Gorbunov, Igor A. PhD, Assistant professor. E-mail: gorbunov1905@gmail.com. Moscow State (National Research) University of Civil Engineering (NRU MGSU). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Kapustin, Dmitrii E. PhD, Assistant professor. E-mail: kde90@bk.ru. Moscow State (National Research) University of Civil Engineering (NRU MGSU). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26. JSC «Institut «Orgenergostroy» 2, Russia, 129337, Moscow, Derbenevskay Nabereznay, 7.

Received in September 2018

Для цитирования:

Горбунов И.А., Капустин Д.Е. Расчетное сопротивление бетона и сталефибробетона в вероятностной трактовке // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 58–64. DOI: 10.12737/article_5c5062099aebc6.33938587

For citation:

Gorbunov I.A., Kapustin D.E. Statistical substantiation of concrete and steel fiber reinforced concrete strength. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 11, pp. 58–64. DOI: 10.12737/article_5c5062099aebc6.33938587