

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2019, №5, Том 11 / 2019, No 5, Vol 11 <https://esj.today/issue-5-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/30SAVN519.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Стельмах С.А., Щербань Е.М., Чернильник А.А., Антоненко С.А., Гребенюк П.С. Исследование изменения прочности дисперсно-армированных высокопрочных центрифугированного и виброцентрифугированного бетонов на растяжение при изгибе в зависимости от типа применяемого фибрового волокна // Вестник Евразийской науки, 2019 №5, <https://esj.today/PDF/30SAVN519.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Chernil'nik A.A., Antonenko S.A., Grebenyuk P.S. (2019). Investigation of changes in the tensile strength of disperse-reinforced high-strength centrifuged and vibro-centrifuged concrete during bending depending on the type of fiber used. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 5(11). Available at: <https://esj.today/PDF/30SAVN519.pdf> (in Russian)

УДК 691

ГРНТИ 67.09.33

Стельмах Сергей Анатольевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: sergej.stelmax@mail.ru

Щербань Евгений Михайлович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты»
Кандидат технических наук
E-mail: au-geen@mail.ru

Чернильник Андрей Александрович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: chernila_a@mail.ru

Антоненко Сергей Анатольевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: dop_sergei1@mail.ru

Гребенюк Павел Сергеевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: ps_grebenyuk18@mail.ru

**Исследование изменения прочности
дисперсно-армированных высокопрочных
центрифугированного и виброцентрифугированного
бетонов на растяжение при изгибе в зависимости
от типа применяемого фибрового волокна**

Аннотация. Актуальной проблемой для изделий и конструкций кольцевого сечения из центрифугированного бетона является способность к хрупкому разрушению, связанному с непропорциональностью возрастания предела прочности при сжатии и растяжении. Прочность и вязкость разрушения при изгибе и осевом растяжении для бетона, армированного дисперсным волокном-фиброй, являются наиболее характерными показателями качества. По этим показателям фибробетон значительно превосходит обычный бетон. Армированные дисперсными волокнами бетоны за рубежом применяют при производстве железобетонных труб, конструкций в гидротехнических сооружениях, покрытий дорог и аэродромов, элементов облицовки зданий. Возможно изготавливать изделия из такого бетона без армирования специальными каркасами и сетками, что упрощает технологию изделий, снижает ее трудоемкость. Дисперсное армирование осуществляется равномерно распределяемыми по объему бетона-матрицы волокнами. Применяют для этого металлические и иные волокна минерального и органического происхождения. В научно-исследовательской лаборатории кафедры технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики Донского государственного технического университета авторами проведена серия масштабных экспериментальных исследований для установления характера изменения свойств высокопрочного тяжелого бетона, изготовленного различными способами в зависимости от армирования различными видами дисперсных волокон. По результатам проведенных исследований установлена актуальность применения технологии армирования фибровыми волокнами тонкостенных изделий кольцевого сечения из тяжелого бетона высокого класса, изготовленных методом виброцентрифугирования. Также авторами выявлено, что наиболее сильное положительное влияние на свойства высокопрочных бетонов оказывает следующее сочетание рецептурно-технологических факторов: технология – виброцентрифугирование, вид фибры – стальная, улучшаемая характеристика при этом – прочность при растяжении.

Вклад авторов.

Стельмах Сергей Анатольевич – автор осуществил написание статьи.

Щербань Евгений Михайлович – автор одобрил окончательную версию статьи перед ее подачей на публикацию.

Чернильник Андрей Александрович – автор осуществил написание статьи.

Антоненко Сергей Анатольевич – автор собрал, проанализировал и интерпретировал материал для статьи.

Гребенюк Павел Сергеевич – автор оказывал участие при оформлении статьи.

Ключевые слова: фиброжелезобетон; высокопрочный бетон; дисперсное армирование; фибра; центрифугирование; виброцентрифугирование; предел прочности на растяжение при изгибе

Одна из важнейших задач в современной строительной индустрии (в частности, железобетонной) – разработка и внедрение строительных конструкций с повышенными показателями по прочности и долговечности. Также значительную роль играет поиск путей удешевления таких конструкций, чтобы их несущая способность как минимум оставалась на прежнем уровне. Выигрышным вариантом повышения несущей способности железобетонных строительных конструкций выступило их армирование дисперсным волокном – стальной фиброй.

Полученный в результате этого приема материал – фиброжелезобетон – привел не только к повышению исключительно несущей способности железобетонных строительных конструкций. Он привел также и к повышению предельной растяжимости бетона, трещиностойкости, ударостойкости.

Важным аспектом является возможность за счет фибрового армирования железобетона стальными дисперсными волокнами уменьшать как продольное, так и поперечное армирование железобетонных строительных конструкций. В конечном итоге это ведет к удешевлению за счет экономии материалов.

Таким образом, эффективность работы конструкции можно повысить в значительной степени за счет применения дисперсного армирования фибровым волокном. В частности, возможно добиться нехарактерного для железобетонных конструкций вязкого разрушения. Эффект этот достигается за счет природы бетона, армированного дисперсным волокном, то есть за счет таких характеристик бетонной матрицы, как повышенные сжимаемость и растяжимость, а также повышенная трещиностойкость в близкой к предельной стадии, а в растянутой зоне – повышенная несущая способность. Перечисленные показатели фиброжелезобетонных конструкций обеспечивают также повышенную эффективность их работы в условиях, где сохраняется опасность, связанная с прогрессирующим разрушением. Этот аспект обладает в настоящий момент существенной актуальностью, так как прослеживается тенденция роста темпов возведения уникальных и высотных зданий и сооружений, в которых железобетонные конструкции находятся в сложном напряженном состоянии [1].

Сталефибробетон является композиционным материалом, свойства которого в первую очередь зависят от такого показателя, как степень дисперсности армирования. Эта степень определяется количеством и размерами вводимых дисперсно-армирующих волокон. Однако высокие стоимостные показатели фибровых волокон, а также проволок с малыми диаметрами, создают ситуацию, что по сравнению с железобетонными наблюдается значительное удорожание сталефибробетонных конструкций. В то же время, экспериментальные исследования, проводимые в СПбГАСУ под руководством Ю.В. Пухаренко, показывают, что высокая эффективность фибрового армирования может быть достигнута и в случае использования волокон крупного диаметра, если их размеры оптимально сочетаются с размерами минеральных частиц, образующих макроструктуру бетонной матрицы [2].

Сцепление фибр с бетоном – один из важнейших факторов, определяющих прочностные свойства сталефибробетонных конструкций. Воспринимаемые сталефибробетоном растягивающие напряжения даже после достижения его матрицей предела прочности на растяжение не падают до нуля, что существенно отличает сталефибробетон от обычного бетона. Несущая способность сталефибробетона в этом случае объясняется тем, что пересекающие трещину стальные волокна продолжают воспринимать действующие на сталефибробетон усилия через силы сцепления по контакту «волокно-матрица». При этом степень воспринимаемой такими фибрами нагрузки определяется с одной стороны их прочностью на растяжение, а с другой – их прочностью сцепления с бетоном.

Как отмечалось ранее, сцепление фибр с бетоном происходит за счет адгезии, трения и механического зацепления поверхностей контакта системы «волокно-матрица». Рассмотрим влияние этих трех факторов на работу растянутого волокна.

На первом этапе восприятия фиброй нагрузки, приложенной к сталефибробетону, передача усилий от бетона к фибре происходит в основном за счет адгезии. Это так называемое неподвижное упругое сцепление.

На втором этапе дополнительно к силам адгезии в работу вступают силы смятия и среза. При этом взаимному перемещению фибры с бетоном препятствуют форма волокна и неровности на его поверхности. Данный этап характерен для волокон с развитой боковой поверхностью. У гладких фибр этот этап работы волокна менее выражен.

Третий этап – этап пластического сцепления, характеризуется появлением на границе раздела «бетон-фибра» сил трения, препятствующих выдергиванию фибры из бетона. Этот этап продолжается до тех пор, пока максимальные напряжения сцепления не достигнут конца волокна. После этого увеличение выдергивающей силы прекращается, и волокно начинает вытягиваться из бетона. При этом за счет постепенного уменьшения длины заделки волокна происходит уменьшение силы его выдергивания.

Нарушение сцепления фибры с бетоном происходит в граничной (контактной) зоне цементного камня. Размер контактных зон вблизи дисперсной арматуры составляет в среднем 300 мкм, в то время как вблизи поверхности заполнителя – 50–60 мкм. Увеличение контактной зоны вокруг фибры объясняется ее малым диаметром и наличием вокруг нее молекулярного силового поля, способствующих объединению контактных зон цементного камня, находящихся вблизи поверхности заполнителя [3].

Армированные дисперсными волокнами бетоны за рубежом применяют при производстве железобетонных труб, конструкций в гидротехнических сооружениях, покрытий дорог и аэродромов, элементов облицовки зданий. Возможно изготавливать изделия из такого бетона без армирования специальными каркасами и сетками, что упрощает технологию изделий, снижает ее трудоемкость [4–7].

Дисперсное армирование осуществляется равномерно распределяемыми по объему бетона-матрицы волокнами. Применяют для этого металлические и иные волокна минерального и органического происхождения [8–10].

Прочность и вязкость разрушения при изгибе и осевом растяжении для бетона, армированного дисперсным волокном-фиброй, являются наиболее характерными показателями качества. По этим показателям фибробетон значительно превосходит обычный бетон [11; 12].

Известно, что для изделий и конструкций кольцевого сечения из центрифугированного бетона существенным недостатком является способность к хрупкому разрушению, связанному с непропорциональностью возрастания предела прочности при сжатии и растяжении.

В этой связи представляет особый интерес применение различных видов фибрового волокна при производстве центрифугированных изделий кольцевой конфигурации [13].

В настоящее время наиболее часто применяются следующие три вида волокнистых армирующих материалов: короткие отрезки стальной тонкой проволоки, волокна из базальта и полипропилена [14–16].

В научно-исследовательской лаборатории кафедры ТВВБиСК ДГТУ авторами проведена серия масштабных экспериментальных исследований для установления характера изменения свойств тяжелого бетона, изготовленного различными способами в зависимости от

армирования различными видами дисперсных волокон. Научный интерес, с точки зрения авторов, представляет такое исследование для бетонов, отличающихся между собой еще и прочностными характеристиками. Авторы исследовали высокопрочный бетон.

В целях систематизации накопленных экспериментальных данных, по методикам, описанным в предыдущих работах, авторами были заформованы и исследованы изделия из бетона класса В60, изготовленные центрифугированием и виброцентрифугированием, с последующим приведением к единообразию [17–20] для удобства аналитического сравнения полученных результатов. Сравнению подлежали значения такого свойства бетонов как прочность на растяжение при изгибе, а также ее прирост в зависимости от вида армирующего волокна [21]. Результаты экспериментов представлены в таблицах 1–2 и графически отражены на рисунках 1–2.

Таблица 1

Результаты испытаний высокопрочного центрифугированного бетона (ВЦБ) на показатель «предел прочности на растяжение при изгибе» в возрасте 28 суток в зависимости от типа применяемого фибрового волокна

Проектный класс бетона	Характеристика образца			Результаты испытания		Фактический класс бетона на сжатие	Прирост прочности по сравнению с контрольным R _д , %
	Масса, г	Размеры, см	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность образца, приведенная к базовому размеру, МПа	Средняя прочность образцов в серии, МПа		
Высокопрочный центрифугированный бетон без фибры							
В60	2502	10x10x10	2502	7,71	7,81	7,81	-
	2516		2516	7,68			
	2518		2518	7,85			
	2506		2506	7,80			
	2501		2501	7,66			
	2510		2510	7,89			
Высокопрочный центрифугированный бетон с полипропиленовой фиброй							
В60	2480	10x10x10	2480	7,66	7,59	7,59	-3
	2485		2485	7,52			
	2478		2478	7,48			
	2491		2491	7,62			
	2492		2492	7,54			
	2482		2482	7,51			
Высокопрочный центрифугированный бетон с базальтовой фиброй							
В60	2501	10x10x10	2501	8,22	8,43	8,43	+8
	2489		2489	8,44			
	2512		2512	8,53			
	2506		2506	8,16			
	2496		2496	8,13			
	2492		2492	8,52			
Высокопрочный центрифугированный бетон со стальной фиброй							
В60	2520	10x10x10	2520	9,01	9,29	9,29	+19
	2505		2505	9,18			
	2522		2522	9,25			
	2515		2515	9,32			
	2500		2500	9,25			
	2519		2519	9,34			

Составлено авторами

Таблица 2

Результаты испытаний высокопрочного виброцентрифугированного бетона (ВВЦБ) на показатель «предел прочности на растяжение при изгибе» в возрасте 28 суток в зависимости от типа применяемого фибрового волокна

Проектный класс бетона	Характеристика образца			Результаты испытания		Фактический класс бетона на сжатие	Прирост прочности по сравнению с контрольным ВВЦБ (ВЦБ) R_{Δ} , %
	Масса, г	Размеры, см	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность образца, приведенная к базовому размеру, МПа	Средняя прочность образцов в серии, МПа		
Высокопрочный виброцентрифугированный бетон без фибры							
В60	2516	10x10x10	2516	8,39	8,46	8,46	- (+8)
	2522		2522	8,32			
	2510		2510	8,48			
	2500		2500	8,44			
	2515		2515	8,53			
	2519		2519	8,30			
Высокопрочный виброцентрифугированный бетон с полипропиленовой фиброй							
В60	2495	10x10x10	2495	8,01	8,12	8,12	-4 (+4)
	2502		2502	8,19			
	2493		2493	7,99			
	2504		2504	8,15			
	2490		2490	8,07			
	2489		2489	8,08			
Высокопрочный виброцентрифугированный бетон с базальтовой фиброй							
В60	2510	10x10x10	2510	8,81	8,97	8,97	+6 (+15)
	2525		2525	8,95			
	2528		2528	8,85			
	2502		2502	8,99			
	2505		2505	8,93			
	2521		2521	8,99			
Высокопрочный виброцентрифугированный бетон со стальной фиброй							
В60	2525	10x10x10	2525	9,83	9,81	9,81	+16 (+26)
	2529		2529	9,65			
	2510		2510	9,89			
	2519		2519	9,75			
	2535		2535	9,78			
	2522		2522	9,71			

Составлено авторами

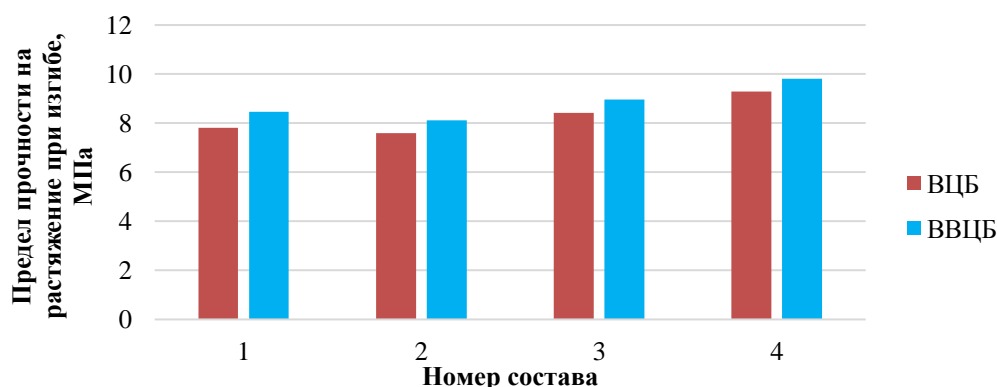


Рисунок 1. Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе от состава бетонной смеси высокопрочных центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов: 1 – контрольный состав; 2 – с полипропиленовой фиброй; 3 – с базальтовой фиброй; 4 – со стальной фиброй (составлено авторами)

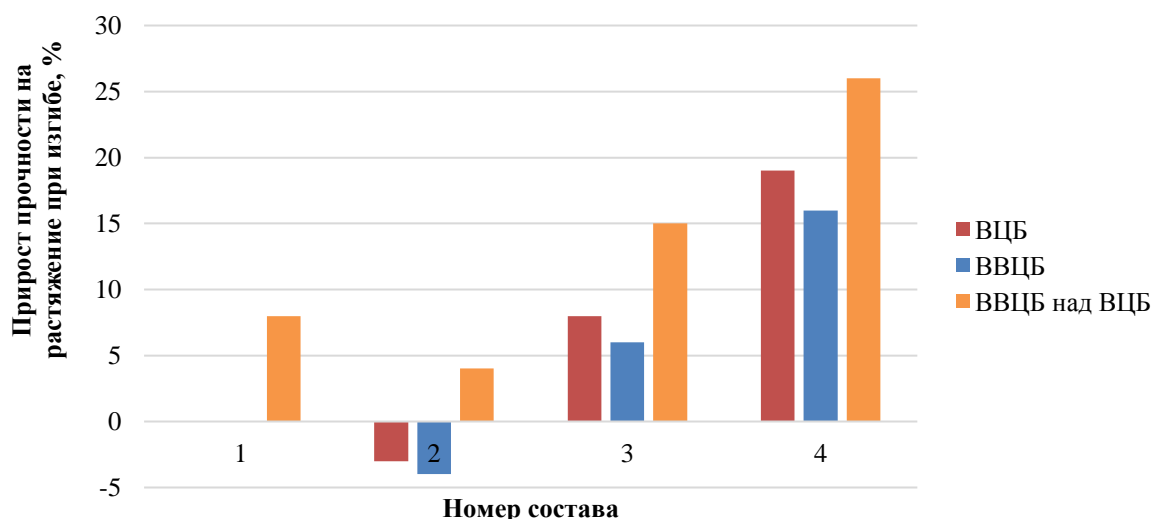


Рисунок 2. Зависимость прироста прочности на растяжение при изгибе от состава бетонной смеси высокопрочных центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов: 1 – контрольный состав; 2 – с полипропиленой фиброй; 3 – с базальтовой фиброй; 4 – со стальной фиброй (составлено авторами)

По результатам проведенных исследований установлено:

1. Наиболее сильное положительное влияние на свойства бетонов класса В60 оказывает следующее сочетание рецептурно-технологических факторов: технология – виброцентрифугирование, вид фибры – стальная, улучшаемая характеристика при этом – прочность при растяжении, величина прироста – 16 % по сравнению с контрольным составом виброцентрифугированного бетона и 26 % по сравнению с контрольным составом центрифугированного бетона.
2. Актуальность применения технологии армирования фибровыми волокнами тонкостенных изделий кольцевого сечения из тяжелого бетона высокого класса, изготовленных методом виброцентрифугирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахотский И.В. Прочность фиброжелезобетонных конструкций в условиях кручения с изгибом: дис...канд. техн. наук: 05.23.01. Санкт-Петербург, 2013. 112 с.
2. Стерин В.С. Промышленная технология дисперсно-армированных железобетонных конструкций: дис...канд. техн. наук в форме науч. докл.: 05.23.05. Санкт-Петербург, 2002. 32 с.
3. Кузнецов М.С. Совершенствование методики расчета сталефибробетонных безнапорных водопропускных труб, изготовленных методом центрифугирования: дис...канд. техн. наук: 05.23.01. Екатеринбург, 2007. 166 с.
4. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон. М.: Стройиздат, 1971. 208 с.
5. Романенко Е.Ю. Высокопрочные бетоны с минеральными пористыми и волокнистыми добавками для изготовления длиномерных центрифугированных конструкций: дис...канд. техн. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 1989. 179 с.
6. Бычков М.В., Удодов С.А. Деформационные свойства легкого конструкционного самоуплотняющегося бетона / Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки, 2013, № 2 (29), С. 71–75.
7. Ахвердов И.Н. Вопросы теории центробежного формования и уплотнения бетонной смеси. – Республиканское научно-техническое совещание: Технология формования железобетонных изделий, 1979. С. 3–12.
8. Петров В.П. Технология и свойства центрифугированного бетона с комбинированным заполнителем для стоек опор контактной сети: дис.... канд. техн. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 1983. 175 с.
9. Раджан Сувал Свойства центрифугированного бетона и совершенствование проектирования центрифугированных железобетонных стоек опор ЛЭП: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 1997. 267 с.
10. Бабков В.В., Аминов Ш.Х., Струговец И.Б., Недосеко И.В., Мохов В.Н., Дистанов Р.Ш. Сталефибробетонные конструкции в автомобильном строительстве Республики Башкортостан // Строительные материалы, 2006, № 3. С. 50–53.
11. Батаев Д.К.-С., Сайдумов М.С., Муртазаева Т.С.-А., Имагамаева Б.Б. Перспективы использования модифицированных высококачественных бетонов в современном строительстве / Современные строительные материалы, технологии и конструкции. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». ГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, 2015. С. 485–492.
12. Саламанова М.Ш., Исмаилова З.Х., Бисултанов Р.Г., Арцаева М.С. Влияние композиционного вяжущего на формирование физико-механических и эксплуатационных свойств фибробетона / Эффективные строительные композиты. Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Ю.М. БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С. 592–598.
13. Ивлев В.А. Фибробетон в тонкостенных изделиях кольцевой конфигурации: дисс...канд. техн. наук: 05.23.05. Уфа, 2009. 167 с.

14. Корянова Ю.И. Целесообразность применения конструкций с внешним армированием // Строительство-2012. Материалы Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 2012. С. 126–128.
15. Крылов Б.А. Фибробетон и его применение в строительстве – М.: Стройиздат, 1979. 173 с.
16. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Нажуев М.П., Насевич А.С., Гераськина В.Е., Пошев А.У-Б. Влияние различных видов фибры на физико-механические свойства центрифугированного бетона // Вестник Евразийской науки, 2018, №6 URL: esj.today/PDF/14SAVN618.pdf.
17. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М., Халюшев А.К. Влияние технологии производства на структурообразование и свойства бетона виброцентрифугированных колонн // Строительство и архитектура (2017), Том 5, Выпуск 4 (17). С. 224–228.
18. Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Третьяков Д.А., Дао В.Н., Заикин В.И. Предложения по расчетному определению прочностных характеристик вибрированных, центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов // Вестник Евразийской науки, 2018, №6 URL: esj.today/PDF/66SAVN618.pdf.
19. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Нажуев М.П., Рымова Е.М., Лиев Р.А. Влияние вида заполнителя и дисперсного армирования на деформативность виброцентрифугированных бетонов // Вестник Евразийской науки, 2018, №5 URL: esj.today/PDF/51SAVN518.pdf.
20. Нажуев М.П., Яновская А.В., Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Осадченко С.А. Анализ зарубежного опыта развития технологии виброцентрифугированных строительных конструкций и изделий из бетона // Вестник Евразийской науки, 2018, №3 URL: esj.today/PDF/58SAVN318.pdf.
21. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Насевич А.С., Нажуев М.П., Тароян А.Г., Яновская А.В. Сравнение влияния армирования фибровыми волокнами различных видов на свойства центрифугированных и вибрированных изделий из тяжелого бетона класса В50 // Вестник Евразийской науки, 2018, №5 URL: esj.today/PDF/29SAVN518.pdf.

Stel'makh Sergei Anatol'evich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: sergej.stelmax@mail.ru

Shcherban' Evgenii Mikhailovich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: au-geen@mail.ru

Chernil'nik Andrei Aleksandrovich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: chernila_a@mail.ru

Antonenko Sergei Anatol'evich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: dop_sergei1@mail.ru

Grebenyuk Pavel Sergeevich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: ps_grebenyuk18@mail.ru

Investigation of changes in the tensile strength of disperse-reinforced high-strength centrifuged and vibro-centrifuged concrete during bending depending on the type of fiber used

Abstract. An actual problem for products and structures of the ring section of centrifuged concrete is the ability to brittle fracture associated with a disproportionate increase in compressive and tensile strength. Strength and fracture toughness in bending and axial tension for concrete reinforced with dispersed fiber are the most characteristic indicators of quality. According to these indicators, fiber concrete is much superior to conventional concrete. Concrete reinforced with dispersed fibers is used abroad in the production of reinforced concrete pipes, structures in hydraulic structures, road surfaces and airfields, building cladding elements. It is possible to manufacture products from such concrete without reinforcement with special frames and grids, which simplifies the technology of products, reduces its complexity. Dispersed reinforcement is carried out by fibers evenly distributed over the volume of the concrete matrix. Apply for this metal and other fibers of mineral and organic origin. In the research laboratory of the Department of technology of binding substances, concretes and building ceramics of the Don State Technical University, the authors conducted a series of large-scale experimental studies to establish the nature of changes in the properties of high-strength heavy concrete made in different ways, depending on the reinforcement of different types of dispersed fibers. According to the results of the research, the relevance of the technology of fiber reinforcement of thin-walled annular products made of high-class heavy concrete made by vibrocentrifugation was established. The authors also revealed that the strongest positive effect on the properties of high-strength concrete has the following combination of prescription and technological factors: technology – vibro- centrifugation, type of fiber – steel, improved performance at the same time – tensile strength.

Keywords: fibro concrete; high-strength concrete; dispersed reinforcement; fiber; centrifugation; vibrocentrifugation; flexural tensile strength